
ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ
РАДИО
В.А. НИКИТИН
КАК СДЕЛАТЬ ТЕЛЕВИЗИОННУЮ АНТЕННУ

ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ «РАДИО»
Выпуск 15

В. А. НИКИТИН

КАК СДЕЛАТЬ ТЕЛЕВИЗИОННУЮ АНТЕННУ

МОСКВА
РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ «СИМВОЛ-Р»
1995

ББК 32.94-5
Н62

Никитин В. А.
Н62 Как сделать телевизионную антенну. М.: «Символ-Р» (Приложение к журналу «Радио»), 1995. — 96 с.

ISBN 5-86955-009-2

Автор брошюры накопил большой опыт по устройству и использованию различных телевизионных антенн метрового и дециметрового диапазонов в условиях ближнего, дальнего и сверхдальнего приема, которым делится с читателем.

Рассмотрены условия приема, конструкции различных антенн, их преимущества и недостатки, целесообразность применения в конкретных условиях.

Для радиолюбителей и владельцев телевизионных приемников, особенно проживающих в сельской месности.

Н $\frac{2303040502 - 001}{ОС6\ (01) - 95}$ без объявления

ББК 32.94-5

ISBN 5-86-955-009-2

Редактор **Л.И. Венгренюк**
Технический редактор **А.С. Журавлев**
Корректор **Н.В. Матвеева**

Бумага газетная.
Усл. печ. л. 5,04
Гарнитура литературная.
Уч.-изд. л. 7,29
Формат $84x108^1/_{32}$
Печать офсетная
Доп. тираж 12 000 экз.
Зак. 0470

ТООП РИП «Символ-Р». 103045, Москва, Селиверстов пер., 10.
Набрано и отпечатано в ИПК «Московская правда»
г. Москва, ул. 1905 г., д.7

1. ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

1.1. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА

Телевидение в нашей стране прошло ряд этапов развития. Первые опытные телевизионные передачи были осуществлены 29 апреля и 2 мая 1931 г., а с 1 октября этого же года начались регулярные передачи с разложением изображения на 30 строк и 12,5 кадров. С 1937 г. начались передачи сравнительно высококачественного изображения с разложением на 343 строки и 25 кадров. В 1948 г. наша страна впервые в мире освоила телевизионный стандарт с разложением на 625 строк и 50 полей. С 1967 г. начались регулярные передачи цветного телевидения. В настоящее время повсеместно все программы телевидения передаются в цветном изображении.

Наряду с развитием передающей телевизионной сети развивалась и приемная сеть. Если в 1940 году отечественная промышленность выпустила всего 300 телевизионных приемников, в 1950 г.— 11 900, то к концу 1990 г. их выпуск превысил 10 млн, в том числе более 6 млн цветных. Количество телевизоров у населения к началу 1991 г. превысило 100 млн. Практически каждая семья имеет телевизор, а многие — два и более. Этим объясняется большой интерес к телевизионной технике в самых различных слоях населения.

Изображение любых предметов, в принципе, передать можно сразу все, но для этого потребовалось бы огромное количество каналов связи, равное количеству элементов изображения, а для высокого качества размеры этих элементов должны быть достаточно малы. Поэтому в телевидении используется принцип поочередной передачи сигнала, подобный чтению текста: по строкам, слева направо, немного вниз, снова слева направо и так до конца, пока не будет считано все изображение. Такой процесс передачи изображения называется *разверткой изображения* по времени.

Для преобразования изображения в электрический сигнал и осуществления развертки служит передающая телевизионная трубка, входящая в состав передающей камеры. Камера похожа на фотоаппарат и содержит объектив, которым передаваемое изображение проецируется целиком на мишень передающей трубки. Мишень покрыта светочувствительным веществом в виде мельчайших зерен, заряжаемых под воздействием света. Сильно освещенные зерна заряжаются сильнее, а те, на которые не падает свет, не заряжаются.

Для развертки на мишень направляется электронный луч, который отклоняющей системой перемещается по мишени слева направо (*по строкам*) и сверху вниз (*по кадру*). Эти направления разверток называются *прямым ходом*. Кадровая развертка значительно медленнее строчной. Поэтому каждая последующая строка располагается немного ниже предыдущей. После прямого хода строчной развертки следует ее обратный ход — луч быстро возвращается к левому краю мишени и начинается прямой ход следую-

щей строки. Когда под воздействием прямого хода кадровой развертки будет пройдена последняя нижняя строка, возникнет обратный ход кадровой развертки, луч быстро переместится вверх и начнется развертка следующего кадра.

Для получения хорошей *разрешающей способности* (различимости мелких деталей изображения) за время передачи полного кадра строчная развертка обходит 625 строк. Во избежание мельканий при передаче движущихся изображений смена кадров производится достаточно быстро — 50 раз в секунду. Такая развертка называется прогрессивной, или построчной. Однако *прогрессивная развертка* по ряду причин оказалась неудобной. Поэтому вместо 50 кадров в секунду передается 50 полей, причем каждое поле содержит вместо 625 строк вдвое меньше — 312,5, а строки в полях расположены через одну. Таким образом, в течение одного поля передаются лишь нечетные строки — 1, 3, 5 и т. д., а в течение следующего поля — четные — 2, 4, 6 и т. д. Такая развертка называется *чересстрочной.*

Электронный луч, обегая мишень передающей трубки, разряжает накопленные на ней заряды. Ток луча изменяется в соответствии с зарядами в каждой точке мишени, т. е. в соответствии с изображением, которое было на нее спроецировано. В результате на сопротивлении резистора, по которому протекает ток луча, образуется напряжение видеосигнала. Для получения точно такого же изображения на экране телевизора, как на мишени передающей трубки, электронный луч приемной трубки (кинескопа) должен обходить экран в том же порядке, в котором обходил мишень луч передающей трубки. Для этого к сигналу изображения подмешиваются строчные и кадровые синхронизирующие импульсы.

Во время обратного хода луча кинескопа по строкам и по кадрам он должен быть погашен. Для этого к сигналу изображения также подмешиваются специальные гасящие импульсы в конце каждой строки и в конце каждого поля. Синхронмпульсы размещаются на гасящих импульсах, как на пьедестале. Таким образом, гашение луча кинескопа начинается еще до начала обратного хода и заканчивается после его завершения. Чтобы генератор строчной развертки телевизора не вышел из синхронизма во время кадрового синхроимпульса, в него вводятся строчные синхроимпульсы в виде врезок. Кроме того, перед кадровым синхроимпульсом и после него вводится по шесть так называемых уравнивающих импульсов.

Смесь сигнала изображения и полного синхросигнала образует полный *телевизионный сигнал,* который подается на модулятор передатчика изображения. При цветном телевидении полный телевизионный сигнал содержит еще сигналы цветности и опознавания цветной передачи. Эти сигналы воспринимаются только цветными телевизорами.

Звуковое сопровождение телевизионной передачи ведется при частотной модуляции несущей частоты. Разнос между несущими частотами изображения и звука в странах СНГ принят равным 6.5 МГц. Для передачи звукового сопровождения используется отдельный передатчик. Передатчики изображения и звукового сопровождения работают на общую широкополосную антенну — многоэтажную, турникетного типа. Такая антенна в горизонтальной плоскости имеет ненаправленную круговую диаграмму направленности,

а в вертикальной создает узкий лепесток диаграммы, прижатый к поверхности земли, что увеличивает поток мощности в этом направлении и препятствует излучению под большими углами к горизонту, которое бесполезно.

1.2. СТАНДАРТЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Система преобразования изображения и звукового сопровождения телевизионной передачи в электрический сигнал на передающей стороне и обратного преобразования на приемной устанавливается телевизионным стандартом. Разные страны мира используют разные стандарты, сложившиеся исторически, которые различаются числом строк в полном кадре, частотой полей, разносом между несущими частотами сигналов изображения и звукового сопровождения, видом модуляции несущей сигналом звукового сопровождения и другими параметрами.

В большинстве стран мира их стандартами предусмотрено разложение изображения на 625 строк и 50 полей при чересстрочной развертке. В странах же Америки, Японии и некоторых других частота полей составляет 60 Гц, а число строк в полном кадре — 525. У нас и в странах Восточной Европы разнос между несущими частотами изображения и звукового сопровождения принят равным 6,5 МГц, а в большинстве других стран мира — 5,5 Мгц. Кое-где используется амплитудная модуляция несущей частоты сигналом звука вместо общепринятой частотной модуляции. Имеются и другие различия. Каждому телевизионному стандарту присвоена определенная буква латинского алфавита, которая позволяет определить все его характеристики.

Помимо разных телевизионных стандартов существуют три разные системы цветного телевидения — СЕКАМ, ПАЛ и НТСЦ, каждая из которых характеризуется определенным способом формирования сигнала, содержащего информацию о цвете элементов изображения.

Различия в стандартах мешают использовать телевизор, рассчитанный на один стандарт, для приема передачи по другому. Такие рассогласования обычно происходят при использовании импортных телевизоров, когда из-за разницы в стандартах оказывается невозможно принять звуковое сопровождение телевизионных передач или при цветной передаче изображение на экране телевизора оказывается черно-белым. В таких случаях неизбежна переделка телевизора, порой достаточно сложная. Поэтому в последние годы многие зарубежные производители стали выпускать телевизоры, оснащенные микропроцессором, который автоматически способен распознать стандарт принятого телевизионного сигнала и систему цветного телевидения, использованную в этом сигнале. Процессор производит необходимые переключения в схеме телевизора, которые обеспечивают нормальный прием изображения и звука, освобождая владельцев такого телевизора от забот.

Для многопрограммного телевизионного вещания сигналы одной программы отличаются от сигналов другой, чтобы на приемной стороне можно было бы выбрать нужную программу. Это обеспечивается, как и в радиовещании, тем, что разные программы передаются на разных частотах. Для телевидения выделены три диапа-

зона частот в области метровых волн и два диапазона в области дециметровых. Для каждой программы выделяется один канал шириной 8 МГц, а каждому каналу присваивается постоянный порядковый номер. Первый и второй частотные каналы относятся к диапазону I, с третьего по пятый — к диапазону II, с шестого по двенадцатый — к диапазону III, с 21-го по 39-й — к диапазону IV, а с 40-го по 80-й — к диапазону V. В табл. 1.1 и 1.2 приведены основные параметры телевизионных частотных каналов в области метровых и дециметровых волн: $f_и$ — несущая частота канала изображения; $f_з$ — несущая частота канала звука; f_c — средняя несущая частота; $\lambda_и$ — длина волны канала изображения; $\lambda_з$ — длина волны канала звука; λ_c — средняя длина волны. При изготовлении телевизионной антенны нужно знать номер частотного канала, по которому идет передача, но не путать его с номером программы.

Таблица 1.1

Основные параметры частотных каналов метровых волн

Номер канала	$f_и$, МГц	$f_з$, МГц	f_c, МГц	$\lambda_и$, мм	$\lambda_з$, мм	λ_c, мм
1	49,75	56,25	52,900	6030	5333	5671
2	59,25	65,75	62,415	5063	4563	4807
3	77,25	83,75	80,434	3883	3582	3730
4	85,25	91,75	88,440	3519	3270	3392
5	93,25	99,75	96,445	3217	3008	3111
6	175,25	181,75	178,470	1712	1651	1681
7	183,25	189,75	186,472	1637	1581	1609
8	191,25	197,75	194,473	1569	1517	1543
9	199,25	205,75	202,474	1506	1458	1482
10	207,25	213,75	210,475	1448	1404	1425
11	215,25	221,75	218,476	1394	1353	1373
12	223,25	229,75	226,477	1344	1306	1325

Таблица 1.2

Основные параметры каналов дециметровых волн

Номер канала	$f_и$, МГц	$f_з$, МГц	f_c, МГц	$\lambda_и$, мм	$\lambda_з$, мм	λ_c, мм
21	471,25	477,75	474,489	637	628	632
22	479,25	485,75	482,489	626	618	622
23	487,25	493,75	490,489	616	608	612
24	495,25	501,75	498,489	606	598	602
25	503,25	509,75	506,490	596	589	592
26	511,25	517,75	514,490	587	579	583
27	519,25	525,75	522,490	578	571	574
28	527,25	533,75	530,490	569	562	566
29	535,25	541,75	538,490	560	554	557

Окончание табл. 1.2

Номер канала	$f_и$, МГц	$f_з$, МГц	f_c, МГц	$\lambda_и$, мм	$\lambda_з$, мм	λ_c, мм
30	543,25	549,75	546,490	552	546	549
31	551,25	557,75	554,490	544	538	541
32	559,25	565,75	562,491	536	530	533
33	567,25	573,75	570,491	529	523	526
34	575,25	581,75	578,491	522	516	519
35	583,25	589,75	586,491	514	509	512
36	591,25	597,75	594,491	507	502	505
37	599,25	605,75	602,491	501	495	498
38	607,25	613,75	610,491	494	489	491
39	615,25	621,75	618,491	488	482	485
40	623,25	629,75	626,492	481	476	479
41	631,25	637,75	634,492	475	470	473
42	639,25	645,75	642,492	469	465	467
43	647,25	653,75	650,492	464	459	461
44	655,25	661,75	658,492	458	453	456
45	663,25	669,75	666,492	452	448	450
46	671,25	677,75	674,492	447	443	445
47	679,25	685,75	682,492	442	438	440
48	687,25	693,75	690,492	437	432	435
49	695,25	701,75	698,492	432	428	430
50	703,25	709,75	706,493	427	423	425
51	711,25	717,75	714,493	422	418	420
52	719,25	725,75	722,493	417	413	415
53	727,25	733,75	730,493	412	409	411
54	735,25	741,75	738,493	408	404	406
55	743,25	749,75	746,493	404	400	402
56	751,25	757,75	754,493	399	396	398
57	759,25	765,75	762,493	395	392	393
58	767,25	773,75	770,493	391	388	389
59	775,25	781,75	778,493	387	384	385
60	783,25	789,75	786,493	383	380	381

1.3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

В настоящее время на территории нашей страны работают сотни телевизионных передатчиков, десятки программных телецентров, большое количество ретрансляторов, использующих системы ретрансляции с применением искусственных спутников Земли. Телевизионным вещанием охвачена практически вся территория. Однако вопрос расширения зоны уверенного приема телевизионных передач все еще не потерял своей актуальности. Сегодня массовый телезритель уже не удовлетворяется возможностью приема первой и второй телевизионных программ, ему хочется принимать местную программу и программы соседних государств и стран. При этом расстояния до соответствующих телевизионных передатчиков часто

оказываются превышающими их официальные зоны уверенного приема. В таких условиях уверенный прием считается невозможным и рекомендуют ориентироваться только на сверхдальний случайный прием. Поэтому в первую очередь необходимо дать четкие определения уверенного приема телевизионных передач и рассмотреть условия, при которых он возможен.

Уверенным приемом называют такие условия приема передач, когда независимо от погоды, состояния солнечной активности, времени суток и года, температуры и влажности воздуха, а также других факторов обеспечивается прием передач заранее выбранного телевизионного передатчика. Случайный сверхдальний прием возникает в зависимости от погоды, солнечной активности и других факторов, в результате действия которых удается в течение ограниченного времени вести прием передач удаленного телевизионного передатчика. Сеансы случайного приема оказываются непредсказуемыми и непродолжительными.

Официальная зона уверенного приема определяется расстоянием прямой видимости передающей антенны из точки установки приемной антенны. При этом исходят из того, что ультракороткие волны (УКВ), на которых ведутся телевизионные передачи, распространяются прямолинейно, подобно свету, не огибают земную поверхность и не отражаются ионосферой в противоположность волнам коротковолнового диапазона. В связи с тем что поверхность Земли шарообразна с радиусом сферы около 6370 км, можно вывести следующую формулу для определения максимальной дальности, соответствующей прямой видимости:

$$D = 3{,}57(\sqrt{H} + \sqrt{h}),$$

где D — максимальная дальность прямой видимости, км; H — высота передающей антенны, м; h — высота приемной антенны, м.

Формула не учитывает фактического рельефа местности и предполагает, что антенны установлены на идеально ровной сферической поверхности Земли. Кроме того, при распространении радиоволн УКВ диапазона все-таки имеют место и дифракция, и рефракция радиоволн. *Дифракцией* радиоволн называют явления, возникающие при встрече радиоволн с препятствиями, когда волна огибает препятствие и проникает в область тени, отклоняясь от прямолинейного пути. Когда передающая и приемная антенны разделены выпуклостью земного шара, дифракция радиоволн является одной из причин приема сигналов за пределами прямой видимости. Эффект дифракционного проникновения радиоволны в область тени зависит от соотношения между размером препятствия и длиной волны и выражен тем сильнее, чем больше длина волны. Поэтому в диапазоне УКВ, где длина волны сравнительно мала, эффект дифракции не так велик, как в диапазоне длинных или средних волн, но все-таки имеет место.

Распространению радиоволн за пределы прямой видимости также способствует явление, называемое нормальной *тропосферной рефракцией (преломлением)*. Показатель преломления зависит от давления и температуры воздуха, которые убывают с высотой. Это приводит к искривлению радиолуча, который отклоняется к земле, огибая ее выпуклость, что ведет к увеличению максимальной дальности возможного уверенного приема телевизионных передач по

сравнению с максимальной дальностью, ограниченной условиями прямой видимости.

Помимо явлений дифракции и нормальной рефракции дальнему распространению радиоволн способствует их *рассеяние* различными наземными металлическими предметами в виде железобетонных масс зданий, мостов, мачт, а также неоднородностями в верхних слоях атмосферы. В результате рассеяния возникают вторичные излучения сигнала, которые, конечно, значительно слабее по мощности основного. Однако при наличии высокоэффективной антенны и достаточно чувствительного телевизионного приемника можно считать реальным достижение уверенного приема телевизионных передач благодаря упомянутым выше явлениям на значительно бóльших расстояниях, чем дает формула дальности прямой видимости. Практика подтверждает такой вывод. Действительно, подставив в формулу высоты передающей 525 м (высота Останкинской телебашни) и приемной 30 м антенн, получим дальность, равную 101 км, хотя известно, что в действительности передачи телецентра в Останкине хорошо видны на значительно бóльших расстояниях.

Область, в пределах которой оказывается возможным уверенный прием телевидения, можно поэтому разбить на *две зоны: прямой видимости* и *полутени*. В зоне прямой видимости напряженность электромагнитного поля сигнала достаточно велика, и прием возможен с помощью обычных антенн. Расширить зону прямой видимости данного телевизионного передатчика в целях использования сравнительно простой антенны можно лишь увеличением высоты ее установки. Однако в связи с тем, что высота приемной антенны обычно значительно меньше высоты передающей, расширение зоны прямой видимости таким способом оказывается незначительным. Так, в приведенном выше примере увеличение высоты приемной антенны с 30 до 60 м дает расширение зоны прямой видимости с 101 лишь до 109 км. В зоне полутени напряженность поля сигнала значительно ниже, чем в зоне прямой видимости, так как в зону полутени проникает лишь небольшая часть энергии сигнала, излученного передающей антенной. Это вынуждает использование в зоне полутени для уверенного приема высокоэффективных антенн, которые отличаются от сравнительно простых бóльшими размерами и значительно более сложной конструкцией.

Как уже было отмечено, с уменьшением длины волны явления дифракции ослабевают. При этом увеличивается затухание сигнала в атмосфере за счет поглощения энергии различными посторонними частицами (пыль, снег, дождь, туман) и молекулами воздуха. Поэтому протяженность зоны полутени зависит от длины волны, т. е. от номера частотного канала. При достаточно большой мощности телевизионного передатчика, когда ведется прием передач программного телецентра, зона полутени ограничена расстоянием 200...
...220 км от передатчика, работающего на 1—2-м каналах, 160...
...180 км от передатчика, работающего на 3—5-м каналах, 120...
...150 км от передатчика, работающего на 6—12-м каналах. Зоны полутени для диапазона дециметровых волн практически не существует. Кроме того, наблюдается повышенное затухание сигнала в атмосфере для этого диапазона. Вот почему можно считать, что зона уверенного приема дециметрового телевизионного передатчика ограничивается расстоянием прямой видимости, уменьшенным примерно в 1,2 раза.

Следует заметить, что указанные границы зоны полутени и границы зоны прямой видимости не являются резкими, а в значительной степени размыты. Кроме того, они очень приближенны, так как совершенно не учитывают фактического рельефа местности. При наличии на трассе высоких холмов и горных преград максимальные расстояния уверенного приема могут оказаться значительно меньшими, а уверенный прием даже при небольших расстояниях от передатчика может оказаться совершенно невозможным. За границей зоны полутени напряженность поля практически равна нулю, и устойчивый прием неосуществим даже при наличии высокоэффективных антенн.

1.4. ПРИЕМ СИГНАЛОВ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Когда прием телевизионных программ происходит в крупном населенном пункте, оснащенном телецентром или ретранслятором, вопрос о выборе источника сигнала обычно не стоит. В условиях же сельской местности, дачного поселка, садового участка или на ферме всегда приходится решать вопрос о том, сигналы какого телецентра или ретранслятора целесообразнее всего принимать. Такой выбор необходим в тех случаях, когда телевизор расположен вдали от телецентров и ретрансляторов и несколько из них передают одну и ту же программу на разных каналах. Требуется выбрать тот, который обеспечит наиболее устойчивый прием. При этом нужно учитывать расстояние до передатчика по прямой, рельеф местности между передатчиком и пунктом приема, мощность передатчика и номер канала, на котором он работает.

Если мощность передатчика не известна, можно ориентироваться на установленную для данного передатчика протяженность зоны уверенного приема. При необходимости мощности передатчиков или зоны их уверенного приема, а также номера частотных каналов, по которым ведутся передачи ближайшими передатчиками, и программы, которые они транслируют, можно узнать в областном комитете по телевидению и радиовещанию.

Не всегда следует останавливаться на ближайшем передатчике: иногда его мощность значительно меньше, чем более удаленного. В других случаях уровень сигнала удаленного передатчика в точке приема может оказаться выше из-за того, что он имеет более высокую антенну, расположен выше над уровнем моря или между ближайшим передатчиком и пунктом приема имеются естественные преграды в виде возвышенностей, гор или холмов. Конечно, оценка по анализу этих факторов может быть очень приближенной. Поэтому лучше ознакомиться с работой телевизоров, установленных поблизости. Если у них качество изображения плохое, но используются простые антенны, есть основания полагать, что установка более эффективной антенны позволит улучшить прием.

От выбора типа антенны и тщательности ее выполнения зависит уровень сигнала на входе телевизора, определяющий контрастность изображения и его качество, возможность получения цветного изображения. Для приема одной программы необходима узкополосная антенна, рассчитанная на прием определенного канала, на котором работает передатчик. Такие антенны обладают наибольшей эффективностью по сравнению с широкополосными антеннами, пред-

назначенными для приема нескольких программ по разным каналам. Если выбранный телецентр или ретранслятор передает несколько программ, в зоне прямой видимости можно установить широкополосную антенну. Однако в зоне полутени придется установить в этом случае раздельные антенны для каждой программы. При необходимости принимать несколько программ с разных направлений, безусловно, требуются раздельные антенны, каждая из которых должна быть узкополосной и рассчитана на прием того частотного канала, на котором работает соответствующий передатчик. Это связано с тем, что переориентировать антенну каждый раз при переходе с приема одной программы на другую крайне неудобно. Трудность использования раздельных антенн для каждой программы состоит в необходимости вести от каждой антенны отдельный фидер, что затрудняет переход с одной антенны на другую, связанный с необходимостью переключения штекеров к антенному гнезду телевизора. Однако эта трудность легко преодолевается, если использовать разделительный фильтр, который позволяет подключить к одному общему фидеру две раздельные антенны. Если же число установленных антенн больше двух, дополнительная коммутация может быть осуществлена контактами электромагнитного реле, управление которым производится дистанционно.

На прием телевизионного сигнала очень большое влияние оказывает правильное очень тщательное *ориентирование приемной антенны*. Она должна быть направлена на передатчик таким образом, чтобы изображение на экране телевизора имело наибольшую четкость по горизонтали, отсутствовали повторные изображения слева и справа от основного, на границах между черным и белым не было серых хвостов, которые называются «тянучками», или окантовок, которые называются «пластикой». Поэтому ориентирование антенны лучше всего выполнять при приеме телевизором телевизионной испытательной таблицы, которая объективно отражает качество изображения.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕЛЕВИЗИОННОЙ АНТЕННЕ

2.1. ПАРАМЕТРЫ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АНТЕНН

Вопросы проектирования, изготовления и использования антенн для диапазонов длинных (ДВ), средних (СВ) и коротких (КВ) волн содержат значительно меньше проблем, чем антенн для диапазона УКВ, особенно телевизионных. Дело в том, что в диапазонах ДВ, СВ и КВ передатчики, как правило, обладают большой мощностью; распространение радиоволн этих диапазонов связано с большими значениями дифракции и рефракции; приемные устройства обладают высокой чувствительностью. Когда же речь заходит о телевизионной антенне, обеспечение необходимых значений этих параметров вызывает трудности. Достижение мощностей телевизионных передатчиков, таких как радиовещательных, оказалось пока невозможным. Явления дифракции и рефракции в диапазоне УКВ незначительны. Чувствительность телевизионного приемника ограничена уровнем его собственных шумов, который из-за необходимости широкой полосы пропускания примерно равен 5 мкВ. Поэтому для

получения на экране телевизора высокого качества изображения уровень входного сигнала должен быть хотя бы в 20 раз больше уровня собственных шумов, т. е. не менее 100 мкВ. Однако из-за небольшой мощности передатчика и худших условий распространения радиоволн напряженность электромагнитного поля в точке приема оказывается невысокой. Отсюда возникает одно из главных требований, предъявляемых к телевизионной антенне: при данной напряженности поля в точке приема антенна должна обеспечить необходимое напряжение сигнала для нормальной работы телевизионного приемника.

Известно, что напряжение сигнала на выходе антенны пропорционально напряженности поля в точке приема, коэффициенту усиления антенны и длине волны сигнала. *Коэффициент усиления* характеризует направленные свойства антенны: чем больше коэффициент усиления, тем уже диаграмма направленности антенны. Количественно коэффициент усиления антенны показывает, во сколько раз мощность сигнала, принятого данной антенной, больше мощности сигнала, принятого простейшей антенной — полуволновым вибратором, помещенным в ту же точку пространства. Обычно коэффициент усиления антенны выражается в децибелах (дБ):

$$K_{дБ} = 10\lg(P/P_0).$$

Вполне естественно желание иметь антенну с большим усилением, но необходимо иметь в виду, что увеличение усиления антенны даром не дается и требует усложнения ее конструкции и габаритов. Всякие попытки разыскать такую конструкцию телевизионной антенны, которая была бы компактной, малогабаритной и, вместе с тем, обладала большим коэффициентом усиления, бесполезны.

Другим важным параметром антенны является ее *входное сопротивление,* которым считается отношение мгновенных значений напряжения к току сигнала в точках питания антенны. Входное сопротивление антенны не может быть измерено простым омметром или другим подобным прибором, для его измерения необходима специальная высокочастотная измерительная аппаратура. Если напряжение и ток сигнала в точках питания совпадают по фазе, их отношение представляет собой действительную величину. При этом входное сопротивление антенны является чисто активным. Если же имеется сдвиг фаз между напряжением и током, их отношение будет комплексным. Тогда входное сопротивление помимо активной составляющей будет иметь реактивную — либо индуктивную, либо емкостную в зависимости от того, отстает ли по фазе ток от напряжения или опережает его.

Входное сопротивление антенны — величина не постоянная, а зависит от частоты сигнала подобно входному сопротивлению колебательного контура. Так же как и контур, антенна может быть настроена в резонанс на частоту сигнала, и в этом случае входное сопротивление антенны будет чисто активным. Сходство с колебательным контуром на этом не заканчивается. Настройка контура в резонанс на частоту сигнала определяется его индуктивностью и емкостью, т. е. конструкцией элементов. Аналогично и настройка антенны на частоту сигнала зависит от конструкции ее элементов, их размеров и взаимного расположения. Подобно колебательному контуру телевизионная антенна обладает определенной полосой

пропускания (более узкой или более широкой) в зависимости от конструкции.

Как уже было отмечено, большой коэффициент усиления антенны соответствует узкой диаграмме направленности. Диаграмма направленности показывает, как антенна принимает сигналы с разных направлений в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Так, антенна в виде вертикального штыря имеет в горизонтальной плоскости диаграмму направленности в форме круга, в центре которого находится сама антенна. Такая диаграмма является ненаправленной, так как принимает сигналы со всех сторон одинаково. Направленная антенна характеризуется наличием одного или нескольких лепестков диаграммы направленности, наибольший из которых называется главным. Помимо главного лепестка диаграмма направленности обычно содержит задний и боковые, уровень которых значительно меньше уровня главного лепестка. Тем не менее и задний, и боковые лепестки диаграммы направленности ухудшают работу антенны, а потому нежелательны. Две антенны с одинаковым коэффициентом усиления могут иметь совершенно разные диаграммы направленности и поэтому такие антенны будут обладать разными приемными свойствами, в частности в условиях дальнего приема. В этих условиях сигнал приходит с линии горизонта, и диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости должна иметь главный лепесток, максимально прижатый к земле. Легко понять, что свойства такой антенны значительно отличаются от свойств другой антенны, у которой главный лепесток диаграммы направленности приподнят над линией горизонта на значительный угол. При одинаковых коэффициентах усиления одна антенна может иметь широкую диаграмму направленности в горизонтальной плоскости и узкую в вертикальной, а другая — наоборот. Свойства этих антенн, конечно, будут различными.

Часто к телевизионной антенне предъявляется требование не принимать сигнал с заднего, противоположного основному, направления. Такое свойство антенны отражает коэффициент защитного действия (КЗД), который выражается отношением мощности сигнала, принятого антенной с главного направления, к мощности сигнала, принятого с заднего направления, при одинаковой напряженности поля обоих сигналов. Чем больше КЗД, тем антенна считается лучше, хотя эта характеристика антенны бывает важна только в определенных условиях приема.

Кроме перечисленных параметров телевизионных антенн могут иметь значение и такие, как уровень и положение максимумов боковых лепестков диаграммы направленности, положение нулей диаграммы, полоса пропускания антенны. Идеальной могла бы считаться антенна, вообще не имеющая боковых лепестков диаграммы направленности, но такими бывают лишь простейшие антенны. Что касается полосы пропускания, то бывают антенны узкополосные, рассчитанные на прием по одному каналу, и широкополосные — для приема сигнала по нескольким частотным каналам.

2.2. ТРЕБОВАНИЯ К АНТЕННЕ И ФИДЕРУ

Как уже отмечалось, напряжение сигнала на выходе антенны пропорционально напряженности поля в точке ее установки, длине

волны сигнала и коэффиценту усиления антенны. Отсюда, чем меньше длина волны (чем больше номер принимаемого частотного канала), тем меньше напряжение сигнала на выходе антенны при прочих равных условиях. Если прием ведется на предельном расстоянии и данная конструкция антенны обеспечивает нормальный прием по первому каналу, то для уверенного приема телевизионных передач по двенадцатому каналу от передатчика той же мощности и расположенного на том же расстоянии понадобится антенна более сложной конструкции, имеющая бо́льший коэффициент усиления. Еще бо́льший коэффициент усиления потребуется для уверенного приема передач в тех же условиях в дециметровом диапазоне волн. Таким образом, требование к коэффициенту усиления антенны должно увязываться не только с удаленностью от передатчика, но и с длиной волны, т. е. с номером канала.

Для того чтобы максимум мощности сигнала, принятого антенной, был направлен в фидер и поступил далее на вход телевизионного приемника, антенна должна быть согласована с фидером, а фидер с телевизором. Для такого согласования входное сопротивление антенны должно быть равно волновому сопротивлению кабеля, из которого выполнен фидер, а волновое сопротивление фидера должно быть равно входному сопротивлению антенного входа телевизора. При рассогласовании антенны и фидера часть энергии принятого антенной сигнала не поступит в фидер, а отразится от него и будет антенной излучена обратно в пространство. Это равносильно соответствующему уменьшению коэффициента усиления антенны. Положение, однако, значительно усугубляется, если фидер, кроме того, оказывается рассогласован с телевизором. При этом часть сигнала отразится от антенного входа телевизора и направится по фидеру в виде обратной волны к антенне. Из-за рассогласования фидера и антенны здесь вновь произойдет отражение, и часть сигнала, распространяясь в прямом направлении, поступит к антенному входу телевизора с задержкой относительно первоначального. Такая задержка создает на экране телевизора повторное изображение, сдвинутое вправо относительно основного. Из-за многократных отражений повторы также оказываются многократными. Таким образом, рассогласование фидера только с одной стороны приводит к уменьшению уровня сигнала на антенном входе телевизора. Рассогласование же фидера с обеих сторон помимо уменьшения уровня сигнала сопровождается появлением повторов на экране. Благодаря тому, что все телевизионные приемники имеют входное сопротивление 75 Ом, при использовании в качестве фидера коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом обеспечивается полное согласование фидера с телевизором без применения каких-либо дополнительных согласующих устройств. При этом рассогласование фидера с антенной не может привести к появлению повторов. Однако если в качестве фидера используется не стандартный коаксиальный кабель, а какой-нибудь суррогат или кабель с другим волновым сопротивлением, появляются повторы. Отсюда возникает основное требование к фидеру: он должен быть выполнен только из коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом.

В условиях сильного сигнала потеря части его энергии за счет отражения от фидера не опасна. Поэтому часто согласованию антенны с фидером не уделяют большого внимания. Однако при слабом сигнале в условиях дальнего приема пренебрегать потерей

части сигнала не следует и вопросам согласования антенны с фидером необходимо уделить большое внимание, так как значительно проще и дешевле достичь согласования, чем увеличения коэффициента усиления антенны.

Повторы на экране возникают не только из-за отражений сигнала от концов фидера, но и в тех случаях, когда антенна помимо основного сигнала принимает сигнал, излученный тем же передатчиком, но поступивший к антенне после переотражения каким-нибудь местным предметом: башенным краном, водонапорной башней, железобетонным зданием и т. д. Если такой местный предмет находится в стороне от прямой, соединяющей передающую и приемную антенны, переотраженный сигнал проходит в пространстве бо́льший путь, чем основной, и поступает к антенне с задержкой относительно основного сигнала, что и приводит к повтору. Переотраженный сигнал поступает к антенне с другого направления относительно основного. Поэтому он может быть ослаблен за счет пространственной избирательности антенны, когда ее способности приема с разных направлений не одинаковы, что характеризуется диаграммой направленности.

Необходимость значительного ослабления переотраженных сигналов приводит к тому, что даже при близком расположении от передатчика часто приходится устанавливать остронаправленные антенны (обладающие бо́льшим коэффициентом усиления), хотя большой уровень напряженности поля не требует применения высокоэффективных антенн. В таких условиях при ориентировании антенны иногда оказывается возможно значительно ослабить повтор при очень незначительном ухудшении основного изображения, когда антенна ориентируется не на максимум сигнала, а на минимум отраженной помехи.

Телевизионная антенна обычно имеет симметричную конструкцию, а коаксиальный кабель, из которого выполнен фидер, асимметричен. Непосредственное подключение такого фидера к симметричной антенне недопустимо, так как нарушение симметрии приведет к искажению формы диаграммы направленности: максимум ее главного лепестка отклонится от геометрической оси антенны, форма диаграммы станет асимметричной, прием будет осуществляться не только антенной, но и оплеткой коаксиального кабеля, что еще более исказит диаграмму направленности. Можно, конечно, для подключения к симметричной антенне использовать фидер симметричной конструкции. Выпускаются двухпроводные симметричные высокочастотные кабели разных марок (например, ленточные кабели КАТВ с полихлорвиниловой изоляцией или КАТП с полиэтиленовой изоляцией при волновом сопротивлении 300 Ом), а также симметричные высокочастотные экранированные кабели марок РД с разными волновыми сопротивлениями. Однако использование симметричных фидеров признано нецелесообразным. Поэтому антенный вход телевизионных приемников выполняют в виде гнезда, рассчитанного на подключение коаксиального кабеля с помощью стандартного штекера асимметричной конструкции. Но соединение коаксиального кабеля с симметричной антенной требует использования специального симметрирующего устройства. Обычно кроме симметрирующего устройства приходится одновременно использовать согласующее устройство из-за того, что входное сопротивление антенны отличается от волнового сопротивления кабеля. Поэтому обычно

симметрирующее и согласующее устройства объединяются в одно симметрирующе-согласующее устройство (ССУ). Конкретные схемы ССУ для антенн разных типов рассматриваются в разделах, посвященных этим антеннам.

Даже при идеальном согласовании фидера с обеих сторон напряжение сигнала на антенном входе телевизора оказывается меньше, чем на выходе самой антенны. Это связано с тем, что при прохождении сигнала по кабелю уменьшается его уровень, происходит его затухание. Затухание тем больше, чем больше длина кабеля и чем больше частота сигнала. Для характеристики кабелей разных марок используется удельное затухание, которым принято называть такое, которое претерпевает сигнал данной частоты, проходя по кабелю длиной 1 м. Удельное затухание измеряется в децибелах на метр (дБ/м) и приводится в справочниках в виде графиков или в виде таблиц. На рис. 2.1 приведены зависимости удельного

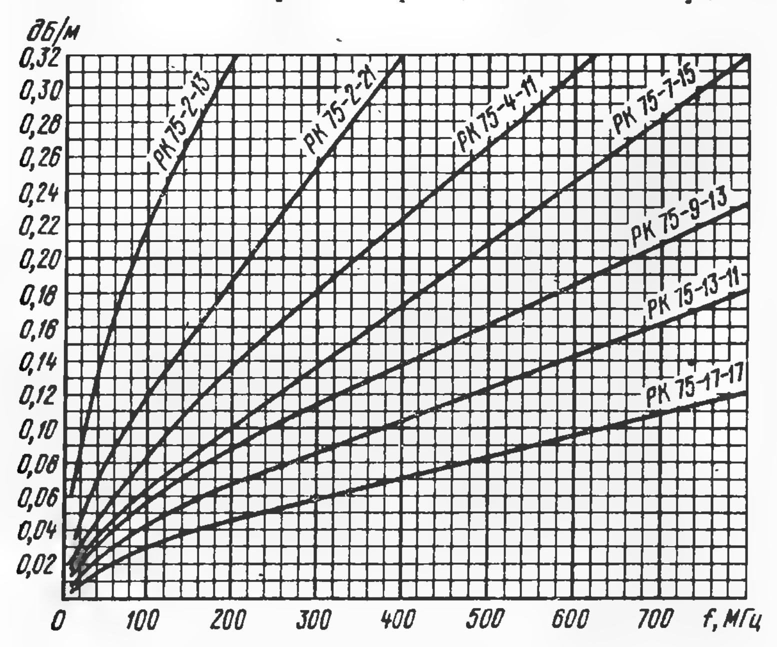


Рис. 2.1. Кривые удельного затухания коаксиальных кабелей

затухания коаксиальных кабелей разных марок от частоты. Пользуясь ими, можно подсчитать затухание сигнала в кабеле при определенной его длине на любом частотном канале метрового или дециметрового диапазона волн.

Обозначение коаксиального кабеля состоит из букв и трех чисел: буквы РК означают радиочастотный коаксиальный кабель, первое число показывает волновое сопротивление кабеля в омах, второе — округленно внутренний диаметр оплетки в миллиметрах, третье — номер разработки. Из зависимостей рис. 2.1 видно, что удельное затухание зависит от толщины кабеля: чем он толще, тем удельное затухание меньше.

В связи с тем что обычно при покупке кабеля не известна его марка, оказываются не известны ни волновое сопротивление данного кабеля, ни его удельное затухание. Оба эти параметра можно определить при наличии штангенциркуля или микрометра. Нужно снять внешнюю защитную оболочку с конца кабеля, завернуть оплетку и измерить диаметр внутренней полиэтиленовой изоляции. Затем снять изоляцию и измерить диаметр центральной жилы. После этого результат первого измерения разделить на результат второго: при полученном отношении 3,3...3,7 волновое сопротивление кабеля равно 50 Ом, при отношении 6,5...6,9 волновое сопротивление составляет 75 Ом. По кривым рис. 2.1 и диаметру изоляции можно приближенно найти удельное затухание.

2.3. ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ АНТЕННЫ

Конструкция телевизионной антенны должна в точности соответствовать ее чертежу и описанию. Желательно не допускать никаких отклонений. Несмотря на то, что многие отклонения вполне допустимы и не влияют на работу антенны, определить, какие именно отклонения от чертежа или описания возможны, способен только опытный и грамотный специалист. Часто радиолюбитель по тем или иным причинам вносит свои изменеиия в конструкцию антенны, полагая, что такие изменения несущественны. В результате внесения недопустимых изменений нормальная работа антенны в значительной мере нарушается.

Металлические элементы антенны можно выполнять из трубок, прутка, полос, уголка или другого профиля любого металла. В соответствии с поверхностным эффектом токи высокой частоты протекают исключительно в пределах тонкого поверхностного слоя металла, и чем больше частота, тем тоньше этот слой. Поэтому те элементы антенны, которые не несут механической нагрузки, предпочитают выполнять из тонкостенных трубок для получения наименьшей массы антенны. Ведь тонкостенная трубка или сплошной пруток того же диаметра по своим свойствам совершенно одинаковы. По этой же причине в описаниях антенн всегда указывается именно наружный диаметр трубок. Если для антенны используется металлическая полоса, ее ширина берется примерно в 1,5 раза больше рекомендованного диаметра, а уголок — того же размера, что и диаметр. Несущие элементы конструкции антенны для снижения ее массы также рекомендуется выполнять из трубы, толщина стенки которой выбирается из условий необходимой прочности конструкции.

Обычно телевизионные антенны выполняют из алюминия или его сплавов. Наибольшее применение получил дюраль марки Д16Т, обладающий прочностью и упругостью. Это объясняется тем, что антениа из таких трубок получается достаточно легкой и прочной. Однако электрические свойства алюминиевых антенн недостаточно высоки из-за того, что в местах соединений элементов антенны часто образуются плохие контакты, вызванные окисной пленкой, покрывающей поверхиость алюминиевых сплавов. С течеиием времени это может иарушить нормальную работу антенны. Еще хуже, когда при сборке антенны используют элементы или стяжные бол-

ты, выполненные из разных металлов. При этом из-за контактной разности потенциалов образуется гальваническая пара, разрушающая металл в месте соединения. Из-за крайней трудности пайки алюминия элементы ССУ обычно подключаются к такой антенне «под винт», где также имеется опасность появления плохих контактов.

В принципе, телевизионная антенна может быть выполнена из любого металла: алюминия, меди, латуни, бронзы, стали или нержавеющей стали. По сравнению с алюминиевыми остальные антенны значительно тяжелее. Использование стали вообще нежелательно из-за неизбежной коррозии. Даже оцинкованные и окрашенные стальные трубки на открытом воздухе довольно быстро ржавеют, и если механическая прочность таких элементов антенны может сохраняться много лет, то электрические контакты в соединениях в результате коррозии быстро нарушаются.

По указанным причинам наилучший материал для элементов антенны — медь или латунь. Эти металлы легко подвергаются пайке, которая обеспечивает надежность и долговечность электрических контактов и, в конечном счете, хорошую работу антенны в течение длительного времени. Если все соединения антенны осуществлялись при помощи пайки, ее элементы могут быть выполнены из разных металлов. Если использовались стальные элементы и пропаивались с применением кислотного флюса, для его удаления места пайки нужно затем тщательно промыть горячей водой, иначе остатки флюса в течение непродолжительного времени приведут к сильной коррозии металла. Следует помнить, что пайка оловянными припоями механических нагрузок не выдерживает и служит лишь для получения хороших электрических контактов. Поэтому прочность соединений необходимо обеспечивать другими способами (болтами, заклепками и т. д.), а после сборки эти соединения нужно пропаять. Исключение составляет пайка твердыми припоями, которые обеспечивают механическую прочность.

Во избежание коррозии антенна после сборки и припайки ССУ тщательно очищается от грязи и окислов и прокрашивается в несколько слоев. Антенны из меди или латуни также необходимо окрасить в связи с тем, что под воздействием кислорода воздуха и сернистых газов в атмосфере на поверхности этих металлов образуется слой сернистой меди, обладающий значительным сопротивлением, который будет ухудшать работу антенны. Используются такие краски, которые являются хорошим диэлектриком и противостоят климатическим воздействиям. Лучшей краской поэтому является синтетическая автоэмаль, хотя могут использоваться нитроэмали, глифталевые или масляные краски. Допустимо также предварительное покрытие грунтовкой. Детали антенн из алюминия или его сплавов окрашивать нет необходимости, так как оксидный слой на поверхности этих металлов обладает очень большим сопротивлением и приближается по своим свойствам к диэлектрику. Оксидный слой защищает поверхность металла от дальнейшего окисления, а под тончайшей оксидной пленкой сохраняется металлическая поверхность с хорошей проводимостью для электрического тока.

В связи с тем что высокочастотные токи протекают только по поверхности металла, она не должна представлять для токов сигнала, принятого антенной, большого сопротивления. Это накла-

дывает определенные требования к состоянию поверхности элементов антенны, которая должна быть ровной и гладкой, а у антенн дециметрового диапазона даже полированной. Не допускается наличие на поверхности элементов антенны поперечных прорезей или глубоких царапин. Совершенно недопустимо специально создавать шероховатую поверхность элементов антенны. По этой же причине не следует окрашивать антенну плохопроводящими красками, например, бронзовой или алюминиевой.

Кроме элементов, принимающих непосредственное участие в работе антенны, она, как правило, содержит некоторые и конструктивные, предназначенные для механического соединения рабочих элементов. К таким относятся, например, стрелы, перекладины и мачта. Их обычно выполняют металлическими. Хотя обычно такие электрические соединения не являются обязательными, но если они имеются, необходимо обеспечить хороший контакт таких соединений, так как плохой контакт приводит к нестабильной работе антенны. Вполне допустимо выполнять конструктивные элементы антенны из изоляционных материалов, причем чаще всего используется дерево. В этом случае рейки должны быть выполнены из хорошо просушенного дерева, их необходимо проолифить и окрасить несколькими слоями масляной краски. В противном случае под воздействием атмосферной влаги, тумана или дождя деревянные элементы конструкции антенны потеряют свои изоляционные свойства и обратятся в плохой проводник с большим сопротивлением, что недопустимо. На высокой частоте необходимо использовать либо хорошие проводники, либо хорошие изоляторы, иначе неизбежны потери части энергии принятого сигнала, что ухудшит эффективность антенны. Конечно, если есть возможность, вместо дерева целесообразно использовать изоляционные материалы более высокого качества: текстолит, гетинакс, винипласт, фторопласт или оргстекло в виде стержней, планок или труб.

Места подключения кабеля к элементам антенны нужно герметизировать во избежание попадания влаги, которая может образовать короткозамыкающий мостик между точками питания антенны. Наилучшая герметизация достигается использованием пластифицированной эпоксидной смолы. Такая смола в виде эпоксидного клея марки ЭДП имеется в широкой продаже в магазинах хозяйственных товаров. Место, подлежащее герметизации, накладывается на кусок пластилина, в нем делается углубление соответствующей формы и заливается смолой. После ее затвердевания пластилин удаляется, а поверхность смолы обрабатывается напильником для придания ей ровной формы. Для хорошего сцепления смолы с металлом он должен быть предварительно обезжирен ацетоном.

На работу антенны сильно влияют также окружающие ее предметы. Если они обладают хорошей проводимостью, в них будут наводиться электромагнитным полем высокочастотные токи, которые исказят форму диаграммы направленности антенны, отклонять ее максимум от геометрической оси антенны. К таким предметам могут относиться металлическая мачта, металлическая поверхность кровли крыши, разные провода. Если же окружающие антенну предметы обладают плохой проводимостью, они будут вносить

потери энергии сигнала, ухудшая эффективность антенны. Поэтому в непосредственной близости от антенны не должны находиться лишние предметы хотя бы на расстоянии, равном длине волны принимаемого канала.

3. КОМНАТНЫЕ АНТЕННЫ

3.1. ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМА КОМНАТНОЙ АНТЕННОЙ

Для электромагнитного поля, созданного телевизионным передатчиком, стены здания не являются непреодолимым препятствием, и поле существует внутри здания. Поэтому имеется возможность принять телевизионный сигнал, воспользовавшись комнатной антенной. Были даже попытки некоторых заводов, изготовителей стационарных телевизоров, встроить антенну внутрь футляра телевизора (телевизор «Авангард-55» и некоторые другие). Все портативные телевизионные приемники и в настоящее время оборудуются встроенной телескопической антенной, которая позволяет принимать сигнал без использования наружной антенны. Однако применение комнатной антенны для стационарного телевизора или встроенной телескопической антенны портативного телевизора, находящегося внутри здания, практически крайне редко позволяет получить хорошее качество изображения на экране. Это связано с целым рядом причин.

Напряженность электромагнитного поля внутри здания значительно меньше, чем на открытой местности, а тем более чем на крыше здания. Значительная часть энергии сигнала поглощается стенами здания — меньше деревянными, сильнее кирпичными, особенно сильное поглощение происходит в железобетонных стенах. Сильное влияние на уровень напряженности поля внутри комнаты оказывают размер окон и их расположение: когда окна выходят в сторону телецентра, напряженность поля в комнате заметно выше, как и на верхних этажах здания.

Комнатные антенны метрового диапазона из-за ограниченности их размеров являются слабонаправленными и обладают малым коэффициентом усиления. Поэтому при пониженной напряженности поля в комнате напряжение сигнала на антенном входе телевизора порой оказывается на пороге или даже ниже чувствительности телевизионного приемника. Это приводит к слабой контрастности изображения, наличию на экране шумовой помехи типа «снег» и неустойчивой синхронизации. Антенны дециметрового диапазона имеют меньшие размеры и в комнатных условиях могут быть применены более сложные их конструкции с повышенным коэффициентом усиления. Однако поглощение стенами энергии этого диапазона значительно больше, а чувствительность телевизионного приемника в дециметровом диапазоне хуже. Поэтому и в дециметровом диапазоне напряжение сигнала на входе телевизора редко позволяет получить хорошее изображение.

Если на открытой местности электромагнитное поле имеет характер бегущих волн, то в помещении значительную долю составляют стоячие волны, когда в одних точках пространства возникают пучности напряженности поля (максимумы), а в других

точках — узлы (минимумы). Стоячие волны образуются за счет многократных отражений электромагнитных волн от металлических предметов: арматуры железобетонных стен, батарей центрального отопления, труб водопровода и отопления, проводов электросети, радиосети и телефона, предметов домашней обстановки (зеркал, металлических раковин и ванн, металлических элементов мебели). Отражения возникают и от неметаллических предметов из-за того, что они создают неравномерность среды.

Наличие стоячих волн в помещении не столь опасно, так как можно разместить комнатную антенну в пучности электромагнитного поля, экспериментально подобрав ее положение. Хуже то, что многократно отраженные сигналы поступают к антенне с запаздыванием относительно основного, прямого, сигнала, что приводит к появлению на экране телевизора многократных повторов изображения. Недостаточная контрастность изображения и наличие повторов сильно ухудшают качество картинки. Кроме того, сдвинутые во времени синхронизирующие импульсы, поступающие к телевизору в составе отраженных сигналов, часто приводят к сбоям строчной и кадровой синхронизации.

Перечисленные неприятности, связанные с использованием комнатных антенн, хорошо знакомы большинству владельцев телевизионных приемников, особенно тем, кто имеет стаж телезрителя с давних времен, когда еще не было коллективных антенн. Для получения сравнительно сносного изображения приходится долго и терпеливо подбирать положение антенны в комнате. При этом оптимальное положение антенны, подобранное для одной программы, оказывается совершенно неприемлемым для другой. Уже выбранное оптимальное положение антенны оказывается нестабильным, и через несколько дней приходится заново ориентировать антенну. Автору известен случай, когда к нему, бывшему главным инженером телевизионного ателье, обратился владелец телевизора с жалобой на радиомеханика, который не смог отремонтировать телевизор по поводу полностью пропавшего изображения. При проверке оказалось, что владелец пользовался комнатной антенной, а в соседней квартире произошла перестановка мебели. Сосед переставил зеркальный шкаф, и большое зеркало полностью перекрыло доступ к комнатной антенне сигнала, который раньше свободно проходил через стену, смежную с соседней квартирой. Подключением телевизора, который оказался вполне исправным, к коллективной антенне конфликт был исчерпан.

При использовании комнатной антенны на изображение порой оказывают влияние даже перемещения людей в комнате. Все это приводит к необходимости сделать вывод о том, что комнатные антенны, как правило, не дают возможности добиться нормальной работы телевизора и реализовать его способности, хорошо принимать телевизионные передачи. Поэтому даже в условиях сильного сигнала, когда телевизионный передатчик находится достаточно близко от места приема, для нормальной работы телевизора приходится рекомендовать его подключение к коллективной антенне, а если ее нет, — установку на крыше наружной антенны.

Тем не менее в определенных условиях при малоэтажной застройке, в сельской местности и в радиусе 10...15 км от телевизионного передатчика возможность приема телевизионных передач на комнатную антенну не исключена и иногда удается получить

достаточно уверенный прием с хорошим качеством изображения. Указать конкретные условия, при которых комнатная антенна может обеспечить хороший телевизионный прием, невозможно. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо опытным путем определить, способна ли комнатная антенна обеспечить нормальный прием передач. При отрицательном результате следует устанавливать наружную антенну. Наружные антенны могут быть выполнены более сложной конструкции по сравнению с комнатными. Это позволяет получить значительно бо́льший коэффициент усиления антенны, что в сочетании с более высокой напряженностью поля, чем внутри здания, обеспечит уверенный прием передач телецентра или телевизионного ретранслятора, расположенного на значительном удалении от пункта приема. Но и вблизи от передатчика наружная антенна с большим коэффициентом усиления, а стало быть обладающая узкой диаграммой направленности, исключит повторы изображения за счет ослабления приема отраженных сигналов.

3.2. КОНСТРУКЦИИ КОМНАТНЫХ АНТЕНН

Наиболее простая комнатная антенна — полуволновый разрезной вибратор — показана на рис. 3.1. Полуволновым он называется

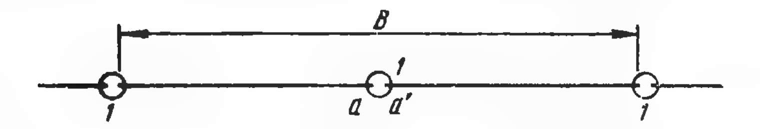


Рис. 3.1. Проволочный разрезной вибратор

потому, что общая длина его двух плеч B примерно равна половине длины волны принимаемого телевизионного канала. Разрезным же он назван в связи с тем, что вибратор разрезан на два плеча пополам. Плечи вибратора выполняют из провода. Можно использовать голый или изолированный провод, одножильный или многожильный, а также антенный канатик. Плечи вибратора изолированы одно от другого в середине орешковым изолятором 1. Такие же изоляторы установлены на концах вибратора, при помощи которых антенна двумя проводами или кусками шпагата крепится к стенам комнаты. В отсутствие орешковых изоляторов можно использовать обычные фарфоровые ролики, как показано на рис. 3.2. Выводы a—a′ делают только у среднего изолятора, по краям их делать нет необходимости. Все четыре скрутки нужно тщательно пропаять, чтобы при натяжении антенны они не разошлись. Поэтому если антенна выполнена из изолированного провода, его концы на соответствующую длину нужно освободить от изоляции.

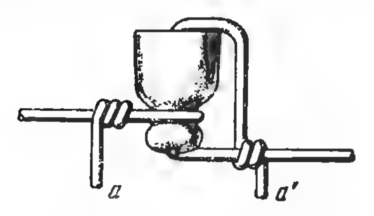


Рис. 3.2. Роликовый изолятор

Длина полуволнового вибратора точно равна половине длины волны только в том случае, если вибратор выполнен из провода бесконечно малого диаметра. При конечных значениях диаметра длина вибратора укорачивается тем сильнее, чем толще вибратор. При этом имеет значение не сам диаметр провода, а его отношение к длине волны, на которую рассчитан вибратор. Тем не менее для комнатных антенн, выполненных из провода или антенного канатика, вибратор оказывается достаточно тонким и его длина незначительно отличается от половины длины волны: в диапазоне 1—5 каналов — в пределах 0,97 . . . 0,975 половины длины волны, а в диапазоне 6—12 каналов — 0,965 . . . 0,971 половины длины волны.

В табл. 3.1 приведены значения длины В полуволнового вибратора для любого из 12-метровых каналов при двух диаметрах провода, из которого выполнены плечи вибратора: 1,5 мм и 4 мм. Видно, что при более толстом вибраторе его длина немного меньше, чем при более тонком.

Входное сопротивление разрезного полуволнового вибратора составляет 72 Ом и хорошо согласуется с коаксиальным кабелем, имеющим волновое сопротивление 75 Ом. Однако для подключения коаксиального кабеля к антенне симметричной конструкции необходимо симметрирующее устройство. Чаще всего в качестве симметрирующего устройства, которое не изменяет входного сопротивления антенны, используют устройство, называемое U-коленом (рис. 3.3). Названо оно так в связи с тем, что внешне напоминает латинскую букву U. U-колено образовано двумя отрезками 75-омного коаксиального кабеля. Длина короткого отрезка равна 1/4 длины волны в кабеле, а длина длинного — 3/4 длины волны в кабеле. К точке их соединения подключается фидер, также выполненный из 75-омного кабеля. К антенне U-колено подключается в точках а и а′. Размеры отрезков U-колена для каждого канала приведены в табл. 3.1.

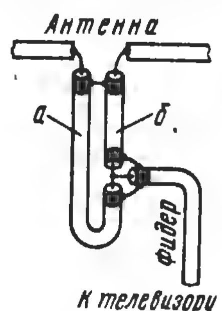


Рис. 3.3. Симметрирующее устройство в виде U-колена

Таблица 3.1

Размеры проволочного полуволнового вибратора

Номер канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В, мм $d=1,5$ мм	2764	2341	1815	1650	1513	816	781	749	720	692	666	643
В, мм $d=4$ мм	2756	2334	1809	1645	1509	814	779	747	717	689	663	640
а, мм	2798	2372	1840	1674	1535	829	794	761	731	703	677	654
б, мм	933	791	613	558	512	276	265	254	244	234	226	218

Использование U-колена при изготовлении комнатной антенны часто оказывается неудобным из-за его значительной длины, особенно на первых пяти каналах. Поэтому можно предложить более компактное симметрирующее устройство, показанное на рис. 3.4.

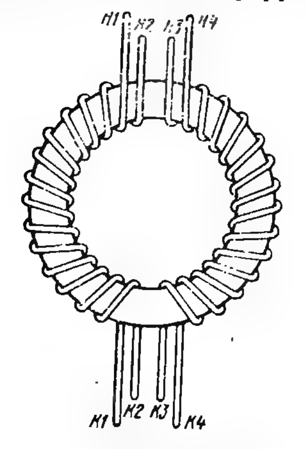
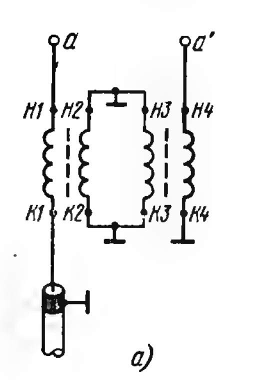


Рис. 3.4. Симметрирующее устройство в виде ферритового кольца

Оно представляет собой кольцо из феррита марки 50ВЧ или 1000НН размерами 7×4×2 мм, либо марки 100ВЧ размерами 8,4×3,5×2 мм. Кольцо сначала обматывают узкой полоской полиэтилена, а затем на него наматывают две обмотки, каждая из которых содержит восемь витков, намотанных двумя проводами ПЭЛШО диаметром 0,21 мм. Витки обмоток необходимо распределить равномерно по кольцу, а их концы закрепить нитками. Важно соблюдать такое же направление витков, как показано на рисунке. Подключают фидер к антенне с помощью этого симметрирующего устройства в точках а — а′ в соответствии со схемой, показанной на рис. 3.5, а. Оплетка кабеля и заземленные концы обмоток соединяют в одной точке возможно более короткими проводниками. Симметрирующее устройство на ферритовом кольце хорошо работает на всех 12 каналах метрового диапазона волн. Коэффициент усиления разрез-



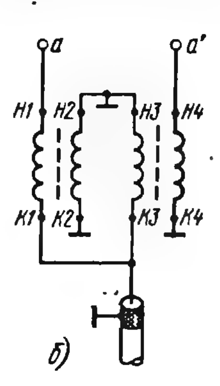


Рис. 3.5. Схемы подключения ферритового симметрирующего устройства

ного полуволнового вибратора равен единице, что соответствует нулю децибел. Это вполне естественно, так как коэффициент усиления определяется именно по отношению к полуволновому вибратору.

Для приема телевизионного сигнала в дециметровом диапазоне, как уже было отмечено ранее, требуется антенна с повышенным

коэффициентом усиления, что требует усложнения ее конструкции. Задача упрощается благодаря тому, что все размеры дециметровой антенны оказываются существенно меньше размеров антенн метрового диапазона. Это позволяет создать комнатную антенну дециметрового диапазона, обладающую сравнительно большим коэффициентом усиления при небольших габаритах.

Одной из таких антенн, сравнительно несложной по конструкции, является трехэлементная рамочная антенна «Тройной квадрат», показанная на рис. 3.6. Коэффициент усиления этой антенны достигает 14 дБ, что соответствует увеличению напряжения сигнала на ее выходе в 5 раз по сравнению с полуволновым вибратором. Антенна содержит три квадратные рамки, из которых директорная и рефлекторная являются замкнутыми, а вибраторная в точках а—а′ (точки питания) разомкнута. Рамки расположены симметрично, так, что их центры находятся на горизонтальной прямой, совпадающей с направлением на телецентр. Рамки выполняют из медного или латунного провода диаметром 3...5 мм, который при размерах антенны дециметрового диапазона обладает достаточной жесткостью. Размеры антенны приведены в табл. 3.2.

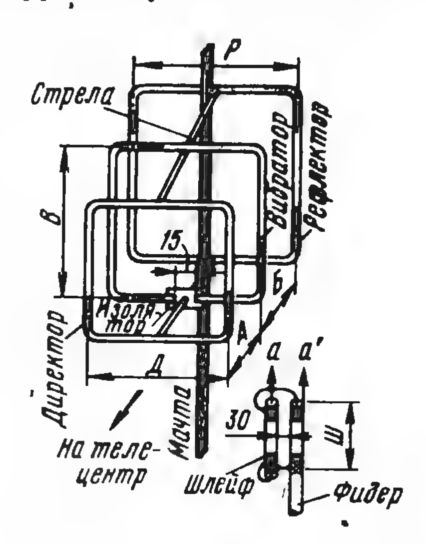


Рис. 3.6. Трехэлементная рамочная антенна

Таблица 3.2

Размеры дециметровой рамочной антенны

Каналы	Д	В	Р	А	Б	Н	Ш	Т
21—26	134	158	193	67	98	580	152	300
27—32	122	144	176	61	89	530	139	274
33—40	110	131	160	55	80	475	126	248
41—49	99	117	143	50	72	430	112	220
50—58	89	105	129	45	65	390	102	200
59—68	81	96	113	41	59	350	92	181
69—80	73	86	106	37	53	315	83	164

Примечание. Размеры Н и Т приведены для антенн, изображенных на рис. 5.4, 5.6.

Рамки антенны крепят к двум стрелам в серединах горизонтальных сторон. Верхняя стрела выполнена из того же материала, что и рамки. Практика показала, что антенна лучше работает, если ниж-

няя стрела выполнена из изоляционного материала, например, гетинаксового или текстолитового прутка. Верхняя стрела припаивается к рамкам, а нижняя может крепить рамки с помощью заливки точек соединения эпоксидной смолой. Мачта или стойка в комнатном варианте такой антенны выполняется также из изоляционного материала — гетинаксового или текстолитового прутка, трубки либо деревянной рейки. Стрелы крепят к мачте или стойке в центре тяжести антенны. Изолятор представляет собой пластину из гетинакса, текстолита или оргстекла размерами 20×30 мм и толщиной 2—3 мм. Концы вибраторной рамки крепятся к этой пластине хомутиками.

Входное сопротивление трехэлементной рамочной антенны примерно равно 70 Ом, и она хорошо согласуется с волновым сопротивлением 75-омного коаксиального кабеля. Для симметрирования используется четвертьволновый короткозамкнутый шлейф, выполненный из отрезка того же кабеля.

Комнатная антенна тщательно ориентируется по изображению на экране телевизора так, чтобы при достаточной контрастности и устойчивой синхронизации получить наивысшую четкость по горизонтали в отсутствие повторов. При этом может оказаться, что направление антенны не совпадает с направлением на телецентр.

Диаграмма направленности разрезного полуволнового вибратора представляет собой в горизонтальной плоскости восьмерку с нулевым приемом в направлениях, совпадающих с линией, на которой расположен вибратор. Диаграмма достаточно широка, и поворот антенны в пределах до 30° в обе стороны от главного направления мало влияет на уровень принятого сигнала. Трехэлементная рамочная антенна обладает узкой диаграммой направленности и должна тщательно ориентироваться.

Комнатные телевизионные антенны также бывают в продаже. Антенны метрового диапазона представляют собой разрезной вибратор с телескопической конструкцией плеч, которая позволяет легко изменять длину вибратора. Антенны дециметрового диапазона являются широкополосными и перекрывают весь диапазон дециметровых каналов.

4. НАРУЖНЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ БЛИЖНЕГО ПРИЕМА

4.1. РАЗНОВИДНОСТИ НАРУЖНЫХ АНТЕНН

Зоной ближнего приема можно назвать такую территорию, где уверенный прием достигается с помощью простейших антенн со сравнительно небольшим коэффициентом усиления. В связи с тем что зона ближнего приема располагается внутри зоны прямой видимости, напряженность поля сигнала в пределах этой зоны в значительной мере зависит от мощности телевизионного передатчика. Поэтому радиус зоны ближнего приема на равнинной местности для мощного программного телецентра составляет примерно 50 км, для областных ретрансляторов — 30 км, а для маломощных местных ретрансляторов еще меньше: имеются ретрансляторы такой малой мощности, что для них зона ближнего приема ограничена расстоя-

нием всего в несколько километров. Четко провести границу зоны ближнего приема, конечно, невозможно, так как она зависит и от мощности передатчика, и от номера канала, и от рельефа местности на трассе прохождения сигнала от передающей антенны к приемной, и от застройки населенного пункта, в котором необходимо осуществить прием. Все это не позволяет определить радиус зоны ближнего приема в конкретных условиях методом расчета. Поэтому в каждом конкретном случае необходимую антенну приходится выбирать опытным путем, начиная с простейшей и при отрицательном результате переходя к более сложной.

Простейшая приемная антенна — *разрезной полуволновый вибратор,* подобный рассмотренному в разделе о комнатных антеннах. Однако наружная антенна, как правило, не может крепиться к противоположным стенам и натягиваться таким путем, как это рекомендовалось для комнатной проволочной антенны. Поэтому такую антенну выполняют в виде жесткой конструкции из металлической трубки. Немного сложнее антенна — *петлевой полуволновый вибратор,* обладающий некоторыми преимуществами перед разрезными, хотя его коэффициент усиления также равен 0 дБ. Если полуволновый вибратор оказывается недостаточно эффективным в данных конкретных условиях, антенна может быть усложнена добавлением еще одного элемента — рефлектора, который значительно ослабляет прием с заданного направления и усиливает с главного. Для этого рефлектор выполняют немного длиннее вибратора и располагают сзади него на некотором расстоянии. Такая двухэлементная *антенна* носит название *«Волновой канал».* Благодаря рефлектору задний лепесток диаграммы направленности значительно уменьшается, а главный лепесток увеличивается и сужается. Поэтому коэффициент усиления антенны становится больше, чем у полуволнового вибратора. Еще бо́льший коэффициент усиления может быть достигнут установкой дополнительных элементов впереди вибратора, которые называются *директорами.* Разработано большое количество разных антенн типа «Волновой канал», отличающихся одна от другой числом директоров и расстоянием между ними. Антенны этого типа отличаются компактностью, жесткой конструкцией, малой ветровой нагрузкой, но обладают и существенными недостатками, которые ограничивают возможности их изготовления в домашних условиях.

В качестве наружных, так же как и комнатных, используют *рамочные антенны* — двухэлементные и трехэлементные. Хотя они конструктивно сложнее двух- и трехэлементных антенн типа «Волновой канал», но обладают значительно бо́льшим коэффициентом усиления даже по сравнению с пятиэлементными антеннами и лишены их недостатков. Рамочные антенны хорошо согласуются с фидером, поэтому их рекомендуют использовать в тех случаях, когда антенна «Волновой канал» не дает достаточно хороших результатов. Рамочные антенны получили широкое распространение также в условиях дальнего приема телевидения за границей зоны прямой видимости, для чего несколько таких антенн соединяются в синфазную систему. Это приводит к еще бо́льшему коэффициенту усиления и позволяет уверенно принимать такие слабые сигналы, принять которые другими антеннами практически оказывается невозможно.

Антенны «Волновой канал» и рамочные относятся к узкополосным и способны принимать сигнал только по одному каналу, которому соответствуют размеры элементов антенны. При развитии многопрограммного телевещания возникла необходимость приема нескольких программ, передаваемых по разным каналам. Для этого разработаны *широкополосные антенны*, способные примерно одинаково принимать группу каналов. К таким антеннам относятся зигзагообразные, логопериодические и «бегущей волны». Там, где возможен прием нескольких программ, устанавливается широкополосная коллективная антенна или несколько антенн, рассчитанных на соответствующие частотные каналы, а также один широкополосный антенный усилитель или несколько для разных каналов. Типы антенн и усилителей подбирают так, чтобы гарантировать уверенный прием всех программ, принимаемых в данном населенном пункте, всеми абонентами, подключенными к этой коллективной антенне. Необходимо лишь отметить, что коэффициент усиления широкополосных антенн, как правило, значительно меньше, чем узкополосных, а соединить несколько широкополосных антенн в синфазную систему не удается из-за невозможности согласования такой системы во всем диапазоне частот. Это ограничивает возможности использования широкополосных антенн, допуская их применение только там, где напряженность поля сигналов по всем принимаемым каналам достаточно велика.

Большинство отечественных телецентров и ретрансляторов ведут телевизионные передачи при горизонтальной поляризации сигнала. Приводимые в дальнейшем эскизы различных антенн рассчитаны именно на горизонтальную поляризацию. Однако некоторые ретрансляторы ведут свои передачи при вертикальной поляризации сигнала. Это требует поворота антенны на 90° вокруг горизонтальной оси, направленной на передатчик.

4.2. ПРОСТЕЙШИЕ АНТЕННЫ

Простейшей телевизионной антенной, как уже было сказано, является разрезной полуволновый вибратор. Конструкция такой антенны показана на рис. 4.1. Активная часть антенны — полуволновый вибратор — образована двумя металлическими трубками диаметром 15...20 мм. Плечи вибратора четырьмя длинными шурупами (или винтами с гайками) через изоляционные втулки из пластмассы или с помощью обычных роликов крепятся на горизонтальной перекладине, установленной на вершине металлической или деревянной мачты. Перекладина обязательно должна быть изготовлена из изоляционного материала. Может быть использовано сухое дерево с покраской в несколько слоев масляной краской. Под головки шурупов или винтов подкладывают изоляционные шайбы, а отверстия в трубках вибратора делают диаметром, немного бо́льшим диаметра шурупов или винтов, чтобы они не касались трубок. Концы трубок нужно сплющить или вложить внутрь заглушки из дерева, чтобы предотвратить попадание влаги, а также свист, возникающий при сильном ветре. В принципе, трубки вибратора могут быть выполнены из любого металла, однако предпочтительнее медь или латунь, к которым легко припаять симметрирующее устройство.

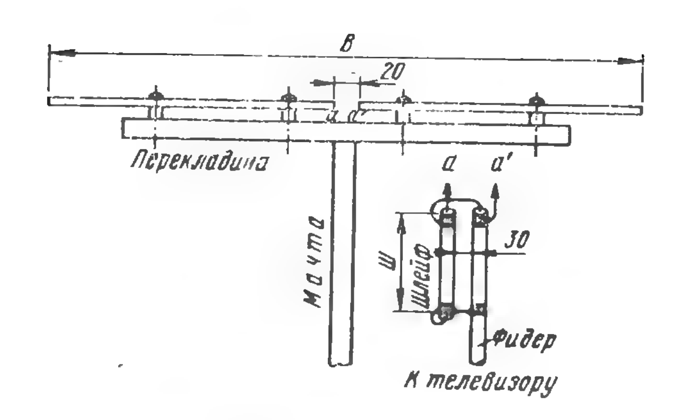


Рис. 4.1. Разрезной полуволновый вибратор

Симметрирующее устройство, показанное на том же рисунке, выполняют в виде четвертьволнового симметрирующего шлейфа из того же кабеля, из которого выполнен фидер. Расстояние между фидером и шлейфом должно быть выдержано постоянным по всей длине шлейфа. Для этого можно использовать гетинаксовые распорки. Фидер и шлейф должны подходить к концам вибратора снизу. Ниже шлейфа фидер можно изгибать в нужную сторону и крепить к мачте любым способом, но в пределах шлейфа изгибы нежелательны. Если используется металлическая мачта, она не должна оказаться в пространстве между шлейфом и фидером.

Размеры антенны (В) и симметрирующего шлейфа (Ш) для любого из 12 метровых каналов сведены в табл. 4.1. Размеры перекладины, расстояние между ней и вибратором, а также расстояние между втулками выбирают произвольно.

Таблица 4.1

Размеры антенны разрезной полуволновый вибратор

Номер канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В, мм	2742	2322	1798	1633	1496	805	771	738	709	681	656	633
Ш, мм	1418	1202	932	848	778	420	402	386	370	356	343	331

Как отмечалось ранее, коэффициент усиления разрезного полуволнового вибратора равен 0 дБ, диаграмма направленности имеет вид восьмерки в горизонтальной плоскости (т. е. вибратор одинаково принимает сигнал и спереди, и сзади) и форму окружности в вертикальной плоскости (т. е. вибратор одинаково принимает сигнал с любых углов места).

Антенна более простой конструкции — *петлевой вибратор,* называемый также шлейф-вибратором Пистолькорса, показана на рис. 4.2. Оба плеча этого вибратора выполнены в виде короткозамкну-

тых шлейфов с длиной каждого, приблизительно равной 1/4 длины волны Середина верхней неразрезанной части вибратора является

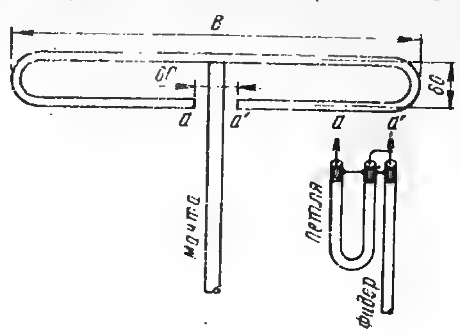


Рис. 4.2. Петлевой вибратор

точкой нулевого потенциала, что позволяет в этой точке крепить вибратор к металлической мачте без изоляции.

Петлевой вибратор выполняют из тех же материалов, что и разрезной. Радиус закругления концов петлевого вибратора не имеет значения. В точках питания концы трубок можно расплющить. Коэффициент укорочения полуволнового петлевого вибратора значительно меньше зависит от диаметра трубки, чем коэффициент укорочения разрезного вибратора. Поэтому длина петлевого вибратора, выполненного из трубок диаметром 10...20 мм, практически остается неизменной. Механическое соединение петлевого вибратора с мачтой можно выполнять любым способом: сваркой, заклепочным или винтовым соединением без изоляции.

Входное сопротивление петлевого вибратора составляет 292 Ома, но обычно приближенно его считают равным 300 Ом. Некоторые из первых отечественных телевизионных приемников имели симметричный антенный вход с входным сопротивлением также 300 Ом, и с такими телевизорами петлевой вибратор мог соединяться симметричным высокочастотным кабелем КАТВ с волновым сопротивлением 300 Ом. Для подключения к петлевому вибратору 75-омного коаксиального кабеля необходимо симметрирующе-согласующее устройство в виде полуволновой петли, которое показано также на рис. 4.2. Полуволновая петля уменьшает входное сопротивление антенны в 4 раза, ее выполняют из кабеля любой марки. Длина петлевого вибратора В и длина петли в развернутом виде П для любого метрового канала приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Размеры антенны полуволновый петлевой вибратор

Номер канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В, мм	2722	2302	1781	1616	1479	786	752	720	691	664	639	616
П, мм	1865	1581	1227	1116	1023	553	529	508	488	469	452	436

Если разрезной вибратор узкополосный и может принимать сигналы только того канала, на который рассчитана его длина, то петлевой вибратор имеет более широкую полосу пропускания. Поэтому он может удовлетворительно принимать сигналы по двум-трем каналам, соседним по частоте. При этом необходимо иметь в виду, что второй и третий, пятый и шестой каналы не являются соседними по частоте, между ними значительный частотный интервал, как видно из табл. 1.1.

Вместо четвертьволнового короткозамкнутого шлейфа симметрирование полуволнового разрезного вибратора можно осуществить с помощью устройства на ферритовом кольце, которое показано на рис. 3.5, а. Так же симметрирование и согласование с фидером петлевого вибратора можно выполнить без полуволновой петли с помощью такого же устройства на ферритовом кольце, но подключение этого устройства произвести согласно рис. 3.5, б. Такое симметрирование и согласование более компактно. Однако во втором случае сложнее герметизация, необходимая для наружной антенны во избежание попадания влаги. В то же время шлейф или петля в герметизации не нуждаются.

Обе рассмотренные антенны (полуволновые разрезной и петлевой вибраторы) ориентируются по направлению на передатчик так, чтобы они располагались в плоскости, перпендикулярной этому направлению. Однако ориентирование должно контролироваться по изображению на экране телевизора, которое должно иметь максимальную четкость по горизонтали и устойчивую синхронизацию, контрастность же картинки не обязательно должна получаться максимальной. Лучше всего ориентировать антенну при приеме телевизионной испытательной таблицы.

Простейшие антенны в диапазоне дециметровых волн обычно не применяют, так как в этом диапазоне требуется получить от антенны ощутимое усиление из-за меньшей напряженности поля.

4.3. АНТЕННЫ «ВОЛНОВОЙ КАНАЛ»

Антенны типа «Волновой канал» получили широкое распространение в различных профессиональных устройствах радиосвязи и радиолокации. Большинство телевизионных коллективных и индивидуальных антенн промышленного изготовления также являются антеннами типа «Волновой канал». Это связано с тем, что такие антенны достаточно компактны и обеспечивают получение большого коэффициента усиления при сравнительно небольших габаритах. Иногда антенну «Волновой канал», особенно в зарубежной литературе, называют антенной Уда — Яги по имени впервые описавших ее японских изобретателей.

Антенна «Волновой канал» представляет собой набор элементов: активного — вибратора и пассивных — рефлектора и нескольких директоров, установленных на одной общей стреле.

Принцип действия антенны в следующем. Вибратор определенной длины, находящийся в электромагнитном поле сигнала, резонирует на частоте сигнала и в нем наводится ЭДС. В каждом из пассивных элементов также наводится ЭДС, и они переизлучают вторичные электромагнитные поля. Эти вторичные поля, в свою очередь, наводят дополнительные ЭДС в вибраторе. Размеры пас-

сивных элементов и их расстояния от вибратора должны быть выбраны такими, чтобы дополнительные ЭДС, наведенные в вибраторе вторичными полями, были в фазе с основной ЭДС, наведенной в нем первичным полем. Тогда все ЭДС будут складываться арифметически, обеспечив увеличение эффективности антенны по сравнению с одиночным вибратором. Для этого рефлектор делается немного длиннее вибратора, а директоры — короче.

Симметричное расположение элементов антенны относительно направления на передатчик создает условия для сложения наведенных ЭДС в вибраторе только для сигнала, приходящего с главного направления. Сигналы, приходящие под углом к главному направлению, создают в вибраторе ЭДС, сдвинутые по фазе относительно основного, и поэтому складываются алгебраически так, как складываются векторы. Их векторная сумма получается меньше арифметической. Сигнал же, приходящий с заднего направления, создает в вибраторе наведенные ЭДС, противофазные основной, и они вычитаются. Таким образом, обеспечивается направленное свойство антенны, формируется узкая диаграмма ее направленности, что соответствует увеличению коэффициента усиления.

Элементы антенн «Волновой канал», которые будут рассмотрены ниже, расположены в пространстве горизонтально, и такие антенны используют для приема сигналов с горизонтальной поляризацией, когда вектор напряженности электрического поля Е также горизонтален. Для приема сигналов с вертикальной поляризацией антенна должна быть повернута на 90° так, чтобы ее элементы стали вертикальными.

В связи с тем что элементы антенны расположены в разных точках пространства, фазы наведенных в них первичным полем ЭДС будут зависеть от координат каждого элемента и их размеров, так как от длины элемента зависит его резонансная частота, а фаза наведенной ЭДС зависит от настройки элемента. Нужно также учесть, что телевизионный сигнал занимает сравнительно широкую полосу частотного спектра, и свойства антенны должны быть хотя бы примерно одинаковыми для всей полосы частот принятого сигнала. Наконец, для хорошего согласования антенны с фидером ее входное сопротивление должно иметь чисто активный характер. Отсюда становится ясно, насколько сложно проектирование антенн типа «Волновой канал», особенно при большом количестве элементов антенны. В настоящее время разработано множество вариантов таких антенн с разным числом директоров различных размеров и с различным расстоянием между ними. Процесс проектирования многоэлементной антенны типа «Волновой канал» вообще не однозначен. Перед проектировщиком могут быть поставлены разные задачи: либо добиться максимального коэффициента усиления антенны, либо — максимального коэффициента защитного действия, либо — наименьшей неравномерности коэффициента усиления в полосе принимаемых частот, либо — минимального уровня боковых лепестков диаграммы направленности или другие факторы. Кроме того, в процессе проектирования некоторыми размерами антенны приходится задаваться, а остальные получать в результате расчета. Этим объясняется то, что в разных источниках литературы приводятся различные размеры элементов антенн при одинаковом их числе. К сожалению, в литературе при описаниях антенн отсутствуют сведения о том, какие исходные данные были положены в

основу проектирования данной конкретной антенны. Следует также учесть, что большинство вариантов многоэлементных антенн «Волновой канал» подобрано экспериментальным путем, что сильно осложняет возможности повторяемости таких конструкций.

Многоэлементная антенна «Волновой канал», по принципу работы аналогичная многоконтурному полосовому фильтру, нуждается в тщательной настройке элементов. Известно, что как бы точно ни были подобраны индуктивности катушек и емкости конденсаторов многоконтурного фильтра, он подлежит обязательной настройке по приборам в связи с тем, что невозможно заранее учесть разбросы различных паразитных параметров, таких как емкости монтажа и индуктивности рассеяния, активные сопротивления катушек на высокой частоте и сопротивления потерь конденсаторов, индуктивности и сопротивления соединительных проводников. Аналогично и при изготовлении многоэлементной антенны «Волновой канала»: даже точное соблюдение всех ее размеров не избавляет от необходимости выполнения тщательной настройки по приборам, так как невозможно учесть разбросы в ее конструкции, такие как непараллельность элементов в горизонтальной плоскости, скручивание несущей стрелы, неизбежное под нагрузкой из-за того, что всегда имеется неоднородная по длине трубы эллиптичность ее сечения, а скручивание стрелы приводит к тому, что элементы антенны уже не находятся в одной плоскости. Определенное влияние на работу антенны, которое невозможно учесть, оказывают находящиеся поблизости местные предметы, металлические и неметаллические. Наконец, невозможно абсолютно точно выдержать все размеры, всегда будут отклонения в пределах допусков, а при изменениях окружающей температуры эти отклонения увеличиваются.

Антенну следует настраивать изменением длины каждого элемента и расстояний между ними при контроле формы диаграммы направленности, значения и характера входного сопротивления антенны. Настройка требует специальных полигонных условий, исключающих влияние местных предметов, и специальных приборов: генератора метрового или дециметрового диапазона волн достаточно большой мощности, индикатора напряженности поля, измерителя полных сопротивлений антенн. Не всегда в процессе настройки удается одновременно добиться того, чтобы входное сопротивление антенны было чисто активным и имело нужное значение. Приходится мириться с полученным значением входного сопротивления антенны при его чисто активном характере. Но при этом кроме настройки антенны приходится также дополнительно осуществлять настройку ее согласования с фидером. Многоэлементные антенны «Волновой канал», используемые в профессиональной аппаратуре, подлежат обязательной индивидуальной настройке на заводе, а в состав аппаратуры входит устройство, позволяющее корректировать согласование антенны с фидером в процессе эксплуатации.

Радиолюбители, занимающиеся постройкой многоэлементных антенн типа «Волновой канал», конечно, не имеют возможности выполнить даже приблизительную настройку антенны, а большинство из них полагает, что антенна, изготовленная точно по чертежам, должна обеспечивать нормальную работу. К сожалению, дело обстоит совсем наоборот. Чем больше элементов содержит антенна, тем сложнее ее настройка и, с другой стороны, тем хуже оказываются

фактические характеристики ненастроенной антенны. В первую очередь при расстройке антенны страдает ее диаграмма направленности. Она становится асимметричной, максимум ее главного лепестка отклоняется от оси антенны, расширяются боковые и задний лепестки. В связи с тем что ухудшается соотношение между площадью главного лепестка и площадью остальных лепестков, падает коэффициент усиления антенны. Входное сопротивление антенны приобретает значительную реактивную составляющую, а его активная составляющая сильно отличается от номинального значения, которое она должна иметь по паспорту. В результате сильно нарушается согласование антенны с фидером. Это приводит к тому, что значительная часть энергии сигнала, принятого антенной, отражается от фидера и излучается обратно в пространство, не поступая на вход телевизионного приемника. Таким образом, резко ухудшаются все без исключения характеристики антенны, подобно тому, как радиоприемник с расстроенными контурами не обладает ни нужной чувствительностью, ни нужной избирательностью. Порой такой приемник вообще не способен принимать радиосигналы. Всем этим объясняются частые разочарования радиолюбителей, которые, построив и установив сложную многоэлементную антенну типа «Волновой канал», сталкиваются с тем, что не получают ожидаемых результатов.

Практика показывает, что антенна «Волновой канал» не нуждается в настройке и обеспечивает получение паспортных характеристик, если она содержит не более трех элементов: вибратор, рефлектор и только один директор. Коэффициент усиления такой антенны составляет 6 дБ, что вполне достаточно для ее использования в зоне ближнего приема. Если же такого коэффициента усиления окажется недостаточно, радиолюбителям не рекомендуется заниматься постройкой многоэлементных антенн типа «Волновой канал», а следует отдать предпочтение антеннам других типов, которые могут обеспечить получение больших коэффициентов усиления и не нуждаются в настройке.

Следует отметить еще одну неприятность, связанную с использованием многоэлементных антенн типа «Волновой канал». Обычно эти антенны содержат петлевой вибратор Пистолькорса. Сам петлевой вибратор имеет входное сопротивление около 300 Ом и хорошо согласуется с фидером из коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом путем применения полуволновой петли. Петля уменьшает входное сопротивление в 4 раза, с 300 до 75 Ом, и обеспечивает симметрирование. При добавлении к петлевому вибратору пассивных элементов входное сопротивление антенны в значительной мере уменьшается. Так, входное сопротивление пятиэлементной антенны в зависимости от ее размеров может находиться в пределах 40...120 Ом. Будучи дополнительно уменьшенным в 4 раза полуволновой петлей, оно падает до 10...30 Ом, что приводит к резкому рассогласованию антенны с фидером. За счет отражения значительной части энергии принятого сигнала и ее излучения обратно в пространство значительно уменьшается коэффициент усиления антенны. В условиях высокого уровня напряженности поля на небольшом расстоянии от передатчика такая потеря усиления антенной не опасна: главной задачей остается защита от помех за счет узкой диаграммы направленности. Однако если многоэлементную антенну устанавливали из-за того, что более простая антенна оказа-

лась недостаточно эффективной, такое решение оказывается ошибочным. Дело осложняется тем, что в литературе при описании многоэлементных антенн «Волновой канал» не указываются значения их входного сопротивления, так как оно очень сильно зависит от настройки антенны. Измерить же входное сопротивление антенны в любительских условиях достаточно трудно, а не зная его, невозможно правильно выбрать схему согласующего устройства.

Двухэлементные антенны «Волновой канал» применяют редко, так как их характеристики ненамного лучше характеристик одиночного вибратора. Поэтому рассмотрим трехэлементную антенну, которая показана на рис. 4.3. Элементы антенны выполнены из металли

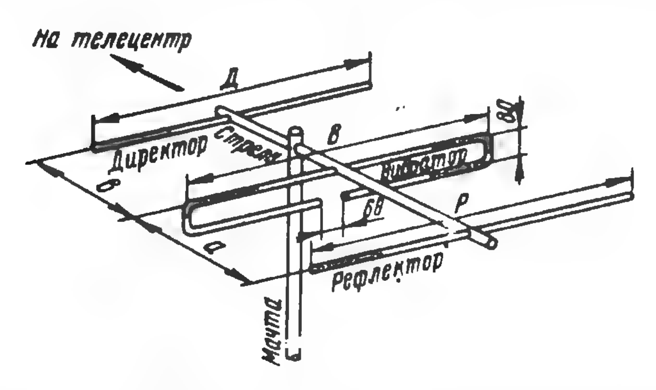


Рис. 4.3. Трехэлементная антенна «Волновой канал»

ческой трубки диаметром 12—20 мм. Мачта и стрела могут быть металлическими. При этом элементы антенны должны быть надежно электрически соединены со стрелой с помощью пайки или сварки. Если стрела выполняется из изоляционного материала, специально соединять между собой элементы антенны не нужно. Расположение элементов антенны соответствует горизонтальной поляризации сигнала. Если необходимо принимать сигнал с вертикальной поляризацией, антенна поворачивается так, чтобы ее элементы заняли вертикальное положение. Однако при этом верхняя часть мачты длиной, примерно равной длине рефлектора, должна быть выполнена из изоляционного материала.

Подключение фидера производится с помощью полуволновой петли, как это показано на рис. 4.2. Входное сопротивление антенны рекомендуемых размеров примерно составляет 150 Ом, поэтому имеется рассогласование антенны с фидером. Однако в условиях ближнего приема более важным является то, что суженная по сравнению с одиночным вибратором диаграмма направленности ослабляет прием помех с других направлений и отраженных сигналов.

Размеры антенны и длина петли в развернутом виде приведены в табл. 4.3.

Коэффициент усиления трехэлементной антенны «Волновой канал» указанных размеров составляет 5,1 ... 5,6 дБ, что соответствует увеличению напряжения сигнала на выходе антенны в 1,8 ... 1,9 раз по сравнению с одиночным полуволновым вибратором. Угол раствора главного лепестка диаграммы направленности по половинной мощности составляет 70°. Трехэлементная антенна, установ-

Таблица 4.3

Размеры трехэлементной антенны «Волновой канал», мм

Номер канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Р	3350	2840	2200	2000	1830	990	950	905	870	840	805	780
В	2760	2340	1790	1620	1510	815	780	745	720	690	665	640
Д	2340	2000	1550	1400	1290	690	660	630	610	585	560	545
а	900	760	590	535	490	270	255	240	230	225	220	215
в	600	510	395	355	330	180	170	160	155	150	145	140
П	1865	1581	1227	1116	1023	553	529	508	488	469	452	436

ленная на мачте высотой 15...20 м, при равнинной местности может обеспечить нормальный прием телевизионных передач на расстоянии до 60 км от передатчика мощностью 5 кВт при высоте передающей антенны 200 м.

На рис. 4.4. представлена пятиэлементная антенна «Волновой

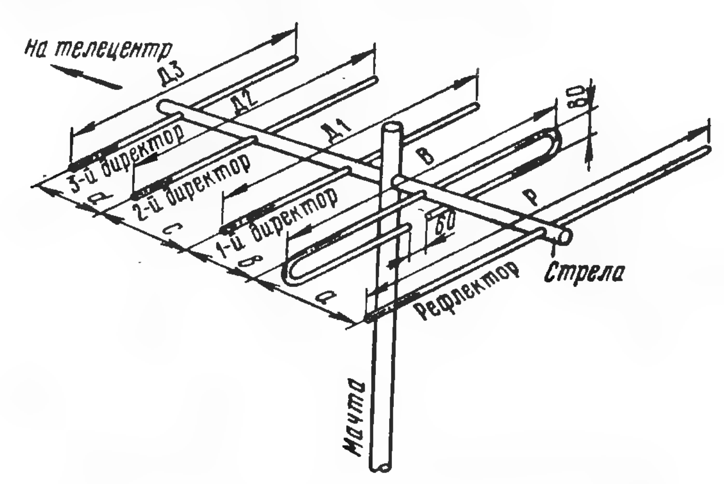


Рис. 4.4. Пятиэлементная антенна «Волновой канал»

канал». От трехэлементной антенны она отличается двумя дополнительными директорами и размерами элементов. В связи с пониженным входным сопротивлением антенны, которое из-за неизбежной расстройки даже приблизительно указать невозможно, фидер к антенне следует подключать с помощью четвертьволнового короткозамкнутого шлейфа, показанного на рис. 4.1. Размеры этой антенны приведены в табл. 4.4.

Коэффициент усиления пятиэлементной антенны при условии ее точной настройки для указанных размеров составляет примерно 8,6...8,9 дБ, что соответствует увеличению сигнала на выходе антенны в 2,7...2,8 раз по сравнению с одиночным полуволновым вибратором. Угол раствора диаграммы направленности по половинной мощности составляет 50°. Если антенна не настраивалась, ее параметры могут оказаться хуже, чем у трехэлементной антенны.

Помимо пятиэлементных разработаны и в некоторых литературных источниках публикуются размеры семиэлементных, одиннадцатиэлементных антенн «Волновой канал», а также с еще большим числом элементов. Такие антенны здесь не рассматриваются по следующим причинам. Как уже отмечалось, без тщательной настройки такие антенны, даже выполненные точно по чертежам,

Таблица 4.4

Размеры пятиэлементной антенны «Волновой канал», мм

Номер канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Р	3130	2650	2060	1870	1710	810	810	800	760	700	710	680
В	2760	2340	1790	1620	1510	730	690	680	660	605	580	550
Д1	2510	2130	1650	1500	1370	720	680	660	640	610	580	560
Д2	2490	2100	1630	1485	1360	720	680	660	610	610	580	560
Д3	2430	2060	1600	1450	1330	700	660	650	610	610	570	530
a	1200	1030	790	720	660	325	310	300	290	260	260	240
b	730	620	480	435	400	210	210	210	160	190	190	250
c	700	590	460	420	380	500	530	490	450	445	390	385
d	740	625	485	440	400	420	365	370	380	315	350	340
Ш	1418	1202	932	848	778	420	402	386	370	356	343	331

обладают плохими характеристиками. Кроме того, с увеличением числа элементов сужается полоса пропускания антенны. Так, полоса пропускания семиэлементной антенны типа «Волновой канал» составляет примерно 5% частоты, на которую она настроена. Поэтому при приеме сигнала по первому частотному каналу (средняя частота 52,9 МГц) полоса пропускания антенны составит всего 2,65 МГц, т. е. значительно меньше полосы частот, занимаемой спектром телевизионного сигнала, которая примерно равна 7 МГц. Даже на пятом канале полоса пропускания этой антенны оказывается недостаточной. А если в диапазоне 6—12-го каналов или в дециметровом диапазоне полоса пропускания многоэлементной антенны оказывается достаточно широкой, из-за неизбежной расстройки такие самодельные антенны оказываются бесперспективными. Наконец, в условиях ближнего приема нет никакой необходимости в установке таких сложных антенн.

Что касается дальней части зоны прямой видимости или зоны полутени, то там необходимо использовать антенны с повышенным или большим коэффициентом усиления, который расстроенная антенна обеспечить не может, и для получения такого коэффициента усиления приходится использовать синфазное соединение нескольких сравнительно простых антенн, которые не нуждаются в настройке и хорошо согласуются с фидером.

4.4. РАМОЧНЫЕ АНТЕННЫ

В тех конкретных условиях приема телевизионных передач, когда простейшие антенны или трехэлементная антенна типа «Волновой канал» не могут обеспечить получение на экране телевизора

удовлетворительного качества изображения, можно рекомендовать двухэлементную рамочную антенну, которая иначе называется обычно антенной «Двойной квадрат». Рамочные антенны сочетают повышенный коэффициент усиления с простотой конструкции и отсутствием необходимости настройки при сравнительно узкой полосе пропускания. Узкополосные антенны по сравнению с широкополосными обладают таким дополнительным преимуществом, как частотная избирательность. Благодаря этому на вход телевизионного приемника не могут проникнуть помехи от других телевизионных передатчиков, работающих на соседних по частоте каналах, если по каким-либо причинам возникли благоприятные условия распространения их сигналов в данном направлении. Особенно важна частотная избирательность антенны в условиях слабого сигнала. Дело в том, что нередки случаи, когда необходимо обеспечить прием слабого сигнала от удаленного передатчика, но поблизости работает мощный передатчик другой программы на соседнем канале. В таких условиях частотной избирательности телевизионного приемника может не хватить. Кроме того, как известно, интенсивная помеха, поступая на первый же нелинейный элемент схемы приемника (электронную лампу, транзистор или микросхему), приводит к перекрестной модуляции сигнала этой помехой. В последующих каскадах избавиться от этой помехи в приемнике уже невозможно. Поэтому ослабление такой помехи за счет частотной избирательности антенны имеет очень важное значение.

Наибольшее распространение получили двухэлементные рамочные антенны, хотя иногда используют также и трехэлементные рамочные антенны. Впервые предложил использовать эти антенны для приема телевидения советский энтузиаст дальнего приема С. К. Сотников. Его первая статья с описанием двухэлементных рамочных антенн была помещена в журнале «Радио», 1959 г., № 4, с. 31—32. Многочисленные эксперименты радиолюбителей подтвердили их эффективность. Антенны с числом рамок более трех не используют по тем же самым причинам, по которым нецелесообразно применение многоэлементных антенн «Волновой канал»: необходимость тщательной настройки, без которой параметры антенны от увеличения числа элементов не улучшаются.

Двухэлементная рамочная антенна показана на рис. 4.5. Рамки

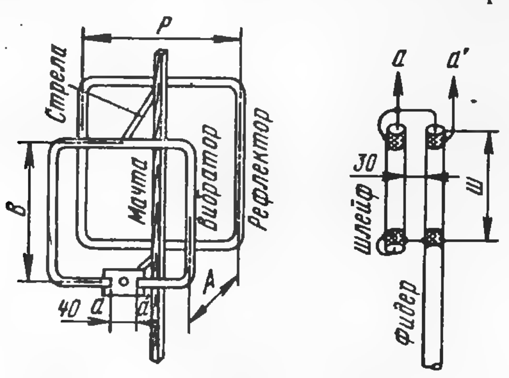


Рис. 4.5. Двухэлементная рамочная антенна

антенны имеют квадратную форму, а по углам могут иметь закругления произвольного радиуса, не превышающего примерно 1/10 стороны квадрата. Рамки выполняют из металлической трубки диаметром 10...20 мм для антенн 1—5-го каналов или 8...15 мм для антенн 6—12-го каналов. Как и при изготовлении других антенн, металл может быть любым, но предпочтительнее медь или латунь. Верхняя стрела соединяет середины обеих рамок, а нижняя стрела изолирована от вибраторной рамки и крепится к пластине, изготовленной из гетинакса, текстолита или оргстекла толщиной 6...8 мм и размерами 30×60 мм. К этой же пластине крепятся концы вибраторной рамки винтами с гайками, для чего концы рамки можно расплющить. Стрелы могут быть выполнены металлическими или из изоляционного материала — текстолита или винипласта. В этом случае специально соединять рамки между собой нет необходимости. Мачта должна быть деревянной, по крайней мере ее верхняя часть. Металлическая часть мачты должна заканчиваться на 1,5 м ниже антенны. Рамки антенны располагают одна относительно другой так, чтобы их воображаемые центры (точки пересечения диагоналей квадратов) находились на горизонтальной прямой, направленной на передатчик. Крепление антенны к мачте производится в центре тяжести.

Фидер подключается к концам вибраторной рамки с помощью четвертьволнового короткозамкнутого симметрирующего шлейфа из того же кабеля, что и фидер. Шлейф и фидер должны подходить к антенне вертикально снизу, расстояние между ними должно быть постоянным по всей длине шлейфа, для чего можно предусмотреть распорки из гетинакса. Можно также закрепить фидер и шлейф на изоляционной пластине, к которой крепятся нижняя стрела и концы вибраторной рамки, изготовив ее в виде буквы Т. При этом в пластине сверлят небольшие отверстия, а фидер и шлейф привязывают к ней капроновой леской. Использовать металлические элементы их крепления нежелательно.

Для обеспечения жесткости можно выполнить шлейф из двух металлических трубок, соединенных верхними концами с концами вибраторной рамки. В этом случае фидер пропускают внутри правой трубки снизу вверх, оплетку кабеля припаивают к правому, а центральную жилу к левому концам вибраторной рамки. Трубки шлейфа в нижней части замыкаются перемычкой, перемещением которой можно подстроить антенну на максимум принимаемого сигнала.

По данным С. К. Сотникова, коэффициент усиления двухэлементной рамочной антенны, выполненной по рекомендованным им размерам, составляет 8...9 дБ, что соответствует увеличению напряжения сигнала в 2,5...2,8 раз по сравнению с напряжением сигнала на выходе полуволнового вибратора. Входное сопротивление этой антенны находится в пределах 70...80 Ом.

Размеры двухэлементной рамочной антенны, рекомендованные С. К. Сотниковым для любого из 12 метровых телевизионных каналов, приведены в табл. 4.5.

В своей книге «Антенны любительских радиостанций» (М.: ДОСААФ, 1962) В. П. Шейко приводит другие размеры двухэлементных рамочных антенн, которые можно вычислить по следующим формулам:

$$B=0{,}26\lambda, \qquad P=0{,}31\lambda, \qquad A=0{,}18\lambda,$$

где λ — длина волны канала изображения $\lambda_и$ или средняя длина волны принимаемого частотного канала λ_c, которые приведены в табл. 1.1. Остальные размеры антенны берутся такими же, как

Таблица 4.5

Размеры двухэлементных рамочных антенн метровых волн, мм

Номер канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В	1450	1220	930	840	770	410	390	370	360	345	330	320
Р	1630	1370	1050	950	870	460	440	420	405	390	375	360
А	900	760	580	530	480	250	240	230	220	210	210	200
Н	4500	3800	2900	2600	2400	1280	1230	1180	1130	1090	1050	1000
Ш	1500	1260	970	880	800	430	410	390	375	360	350	335
Т	1000	840	640	580	530	280	270	260	250	240	230	220

указано в табл. 4.5. Для антенны таких размеров В. П. Шейко указывает, что коэффициент усиления составляет 9...11 дБ, что соответствует увеличению напряжения сигнала в 2,8...3,5 раз по сравнению с напряжением сигнала на выходе полуволнового вибратора. Входное сопротивление такой антенны около 100 Ом.

Исходя из приведенных значений коэффициента усиления, можно сделать вывод о том, что по усилению двухэлементная рамочная антенна эквивалентна пятиэлементной антенне «Волновой канал» или немного эффективнее ее, но имеет меньшие габариты и лишена ее недостатков, так как не нуждается в настройке, хорошо согласуется с фидером и обладает хорошей повторяемостью параметров. Это объясняется тем, что активной приемной частью каждой рамки являются ее верхняя и нижняя горизонтальные части. Получается, что двухэлементная рамочная антенна содержит четыре элемента и эквивалентна двухэтажной синфазной решетке, собранной из двухэлементных антенн «Волновой канал». Влияние дополнительных двух элементов второго этажа оказывается сильнее, чем добавление двух директоров к двухэлементной антенне «Волновой канал», за счет сужения диаграммы направленности в вертикальной плоскости, а это очень важно в условиях дальнего приема, когда сигнал приходит с линии горизонта под малым углом места. Наличие же всего двух элементов, взаимодействующих в каждом этаже, обеспечивает стабильность параметров антенны и их независимость от естественных разбросов в размерах. Благодаря этому отпадает необходимость индивидуальной настройки каждой антенны и обеспечивается хорошее согласование ее с фидером.

В качестве наружной антенны можно также использовать трехэлементную рамочную антенну, аналогичную показанной на рис. 3.6. Отличие наружной антенны от комнатной лишь в том, что ее рамки для бо́льшей прочности должны быть выполнены из металлической трубки или прутка диаметром 6...10 мм, а стрелы и пластина изолятора — более толстыми. Остальные размеры для антенны дециметрового диапазона волн должны соответствовать указанным в табл. 3.2. В связи с тем что полоса пропускания антенны в дециметровом диапазоне охватывает сразу несколько частотных каналов, размеры даются не для одного канала а для группы каналов, соседних по частоте.

Трехэлементную рамочную антенну также можно использовать в диапазонах метровых волн. Размеры такой антенны для любого из 12 частотных каналов приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Размеры трехэлементных рамочных антенн метровых волн, мм

Номер канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Д	1255	1060	825	750	688	370	354	340	325	312	300	290
В	1485	1260	975	890	812	438	418	400	385	370	357	345
Р	1810	1530	1190	1080	990	532	510	488	470	450	435	420
А	630	532	412	375	345	185	177	170	163	157	150	145
Б	915	775	600	545	500	270	258	246	237	228	220	210
Н	5600	4600	3600	3200	3000	1680	1600	1500	1450	1400	1350	1300
Ш	1500	1260	970	880	800	430	410	390	375	360	350	335
Т	1000	840	640	580	530	280	270	260	250	240	230	220

Рамки и верхнюю стрелу антенны метровых волн для достаточной прочности выполняют из трубки диаметром 10...15 мм, а расстояние между концами вибраторной рамки увеличивают до 50 мм.

Как отмечалось, коэффициент усиления трехэлементной рамочной антенны указанных размеров по данным В. П. Шейко составляет 14...15 дБ, что значительно превышает коэффициент усиления многоэлементных антенн «Волновой канал». Для сравнения напомним, что коэффициент усиления семиэлементной антенны «Волновой канал» равен 10 дБ, одиннадцатиэлементной — 12 дБ, шестнадцатиэлементной — 13,5 дБ. Причем эти значения соответствуют точно настроенным антеннам. При изготовлении же антенн «Волновой канал» в любительских условиях без их тщательной настройки указанные значения коэффициентов усиления в лучшем случае следует уменьшить на 3 дБ. Если учесть, что трехэлементная рамочная антенна не нуждается в настройке, ее преимущества очевидны.

Большой коэффициент усиления рамочных антенн указывает на достаточно малую ширину лепестка диаграммы направленности. Поэтому такие антенны необходимо ориентировать на передатчик более тщательно. Можно рекомендовать следующий способ. Регулятором контрастности телевизора установить минимальную контрастность, при которой еще сохраняется синхронизация. Затем подстроить соответствующими регуляторами частоты строчной и кадровой разверток и вновь уменьшить контрастность до срыва синхронизации. После этого скорректировать ориентировку антенны до восстановления синхронизации. Можно вновь уменьшить контрастность и подориентировать антенну. На равнинной местности, как правило, достаточно ориентировать антенну только по азимуту при сохранении горизонтального положения ее оси. В условиях же горной местности часто приходится также ориентировать антенну и по углу места, наклоняя ее ось, когда сигнал приходит не с линии горизонта, а с вершины какой-либо горы, являющейся его переизлучателем.

Двухэлементную антенну можно использовать на расстоянии до передатчика, примерно равном 70% расстояния прямой видимости, а трехэлементную — вплоть до границы прямой видимости и иногда также в зоне полутени, прилегающей к зоне прямой видимости, конечно, при достаточной мощности передатчика. Если же принимается сигнал от передатчика малой мощности и даже в ближней части зоны прямой видимости, полуволновый вибратор или трехэлементная антенна «Волновой канал» не обеспечивает хорошего приема, двухэлементная рамочная антенна (а тем более трехэлементная рамочная антенна) позволит достичь увеличения уровня сигнала на входе телевизора. Иногда либо из-за удаленности от передатчика, либо из-за недостаточной мощности этого передатчика контрастность изображения на экране телевизора оказывается недостаточной, а на экране цветного телевизора получается только черно-белое изображение и получить цветное изображение не удается. В этих случаях использование рамочных антенн также позволяет получить хороший эффект.

4.5. ЗИГЗАГООБРАЗНЫЕ АНТЕННЫ

Если антенны типа «Волновой канал» и рамочные узкополосные, то зигзагообразные антенны широкополосные и могут работать в широком диапазоне частот. В пределах того диапазона частот, на который рассчитана зигзагообразная антенна, она обладает сравнительно постоянными параметрами, удовлетворительно согласуется с фидером, а ее коэффициент усиления изменяется в небольшой степени. Еще одно из достоинств этих антенн — возможность легкого изготовления в домашних условиях, так как зигзагообразные антенны могут быть выполнены из подручных материалов. Впервые зигзагообразная антенна описана в радиолюбительской литературе К. П. Харченко в журнале «Радио», 1961 г., № 3, а ее разновидности многократно публиковались в последующие годы.

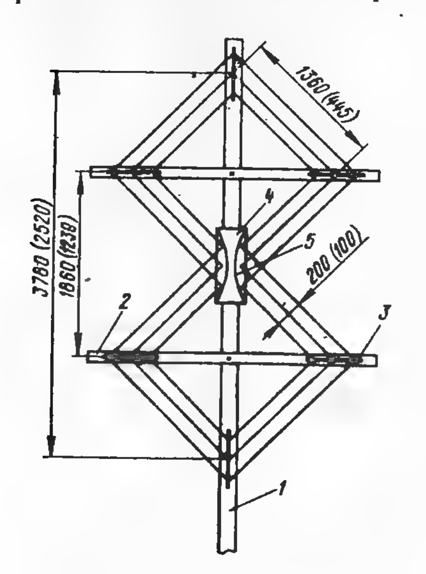


Рис. 4.6. Проволочная зигзагообразная антенна

Одна из простейших зигзагообразных антенн показана на рис. 4.6. В качестве мачты 1 используется деревянный брусок сечением 60×60 мм, к которому крепятся под углом 90° две рейки 2, выполненные из деревянных брусков сечением 40×40 мм. Рейки необходимо врезать в мачту заподлицо, а затем скрепить с ней болтами с гайками. В верхней и нижней частях мачты к ней кре-

пятся гвоздями или шурупами две планки 3 из листовой меди, латуни или белой жести размерами 20×300 мм. Еще четыре такие же планки устанавливаются на концах реек, но эти планки изолируют от реек прокладками из гетинакса. К мачте посредине между рейками крепится пластина 4 из гетинакса размерами 80×300 мм, а к ней — две металлические пластинки 5 в форме сегментов радиусом 340 мм, хордой 300 мм и стрелой 35 мм. Ширина просвета между пластинками в наиболее узкой части должна получиться равной 10 мм.

Полотно антенны выполняется обмоточным, монтажным проводом или антенным канатиком произвольного диаметра, который в точках изгиба припаивается к планкам 3 и пластинкам 5. Полотно образовано тремя параллельными проводами с точками питания на пластинках 5. Верхняя и нижняя планки при работе антенны оказываются в точках нулевого потенциала во всем диапазоне принимаемых волн, что позволяет не изолировать их от мачты и обойтись без ССУ при использовании в качестве фидера 75-омного коаксиального кабеля. Кабель проходит по мачте вверх до нижней планки, затем прокладывается между проводами левой части зигзага к точкам питания. Здесь оплетка кабеля припаивается к левой пластинке, а центральная жила — к правой.

Размеры, показанные на рис. 4.6 без скобок, относятся к антенне, рассчитанной на прием телевизионного сигнала в диапазоне с первого по пятый телевизионный канал (диапазоны I и II). При этом согласование антенны с фидером характеризуется коэффициентом бегущей волны в фидере, превышающим 0,45, что соответствует передаче мощности сигнала к телевизору не менее 85%. Коэффициент усиления антенны по диапазону изменяется в пределах 4,3...7,9 дБ с максимумом вблизи 3-го частотного канала.

Такая же антенна может быть выполнена для приема сигнала в диапазоне III (6—12-й каналы). Размеры такой антенны показаны на рисунке в скобках. Длина планок берется равной 150 мм, изоляционная пластина 4 — размерами 80×150 мм, а металлические пластинки 5 в форме сегментов радиусом 97 мм, хордой 150 мм и стрелой 35 мм. В связи с тем что относительная ширина этого диапазона меньше, согласование антенны с фидером получается лучше: коэффициент бегущей волны в фидере превышает 0,65 (к телевизору передается более 96% принятой антенной мощности сигнала). Коэффициент усиления антенны изменяется по диапазону в пределах 4,8...6,9 дБ.

Антенна таких же размеров и с такими же характеристиками может быть получена, если вместо каждой из шести металлических планок установить на мачте и рейках по три ролика от электропроводки. При этом у каждой группы роликов провода полотна необходимо замкнуть между собой припайкой проволочных перемычек. Наконец, полотно антенны можно выполнить из металлической полосы шириной 120 мм (1—5-й каналы) или 70 мм (6—12-й каналы). Размеры антенны остаются прежними. Полотно этой конструкции может быть образовано из восьми полос, которые соединяются по углам зигзага пайкой, или одной длинной полосой, которая перегибается по углам зигзага. От реек полосы по-прежнему изолируются.

Другой вариант зигзагообразной антенны показан на рис. 4.7. Антенна представляет собой металлическое кольцо или деревянный обруч с проложенным по поверхности обруча проволочным кольцом. Проволоку можно закрепить к поверхности деревянного обруча скобками. Кольцо или обруч крепят на деревянной мачте. В центре

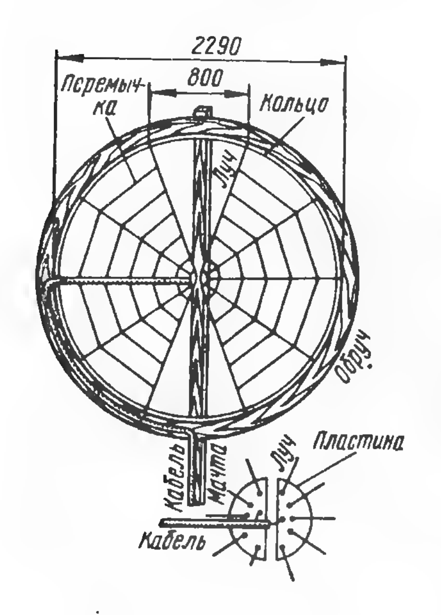


Рис. 4.7. Кольцевая зигзагообразная антенна

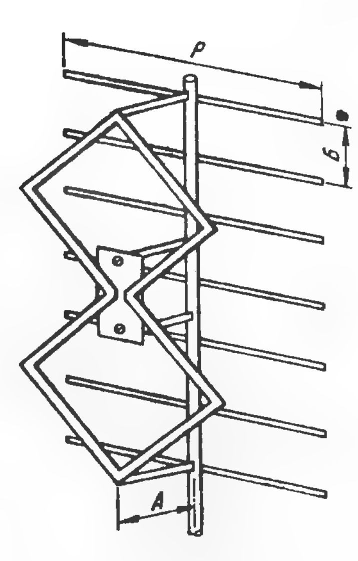


Рис. 4.8. Зигзагообразная антенна с рефлектором

кольца к мачте на изоляционном основании устанавливают две полукруглые металлические пластины, выполненные из листовой меди, латуни или белой жести радиусом 50 мм. Каждую пластину соединяют с кольцом пятью лучами, расположенными под одинаковыми углами. Затем лучи соединяют между собой пятью перемычками, расположенными также на одинаковом расстоянии одна от другой. Проволочное кольцо, лучи и перемычки можно изготовить из антенного канатика или медного провода диаметром 1,5..3,0 мм. Все соединения нужно тщательно пропаять. Прокладка и подключение кабеля, которое производится также без ССУ, показаны на том же рисунке.

Кольцевая зигзагообразная антенна указанных размеров способна принимать сигналы всех 12 каналов метрового диапазона волн. Антенна удовлетворительно согласуется с 75-омным коаксиальным кабелем: на каналах с третьего по двенадцатый согласование хорошее, на первом и втором — несколько хуже. Коэффициент усиления антенны плавно нарастает при увеличении номера канала примерно от 0,5 дБ на первом канале до 11,5 дБ на двенадцатом.

Такое изменение коэффициента усиления соответствует необходимости, так как с уменьшением длины волны сигнала при постоянных напряженности поля и коэффициенте усиления антенны напряжение сигнала на выходе антенны должно пропорционально уменьшаться.

Рассмотренные конструкции зигзагообразных антенн имеют два одинаковых лепестка диаграммы направленности в горизонтальной плоскости, максимумы которых направлены перпендикулярно плоскости полотна антенны. Таким образом, эти антенны принимают сигнал как спереди, так и сзади, подобно одиночному полуволновому вибратору, что создает опасность приема помех с заднего направления. Значительно улучшить работу зигзагообразной антенны можно за счет ее усложнения добавлением рефлектора (рис. 4.8). Рефлектор образован горизонтальными металлическими трубками, прикрепленными к мачте, а полотно антенны отодвинуто от плоскости рефлектора на некоторое расстояние А. В точках нулевого потенциала в верхней и нижней частях полотно антенны металлическими стойками крепят к мачте, которая также может быть металлической. В средней части такими же двумя стойками к мачте крепят изоляционную пластину, на которой закреплены углы полотна антенны в точках питания. Диаметр трубок рефлектора можно выбирать произвольно, а их длина Р для антенны 1—5-го каналов должна составлять 3100 мм, для антенны 6—12-го каналов 890 мм, расстояние между полотном антенны и плоскостью рефлектора А для 1—5-го каналов 600 мм, для 6—12-го каналов — 340 мм, расстояние между трубками рефлектора Б для антенны 1—5-го каналов должно быть 290 мм, для антенны 6—12-го каналов 193 мм. Размеры полотна антенны такие же, как на рис. 4.6. Таким образом, рефлектор содержит 14 трубок. Размеры изоляционной пластины выбирают произвольно. Кабель к этой антенне прокладывают следующим образом: по мачте вверх, по нижней стойке, затем по левой части антенного полотна до точек питания. Здесь оплетку припаивают к углу левой части полотна, а центральную жилу — к углу правой части.

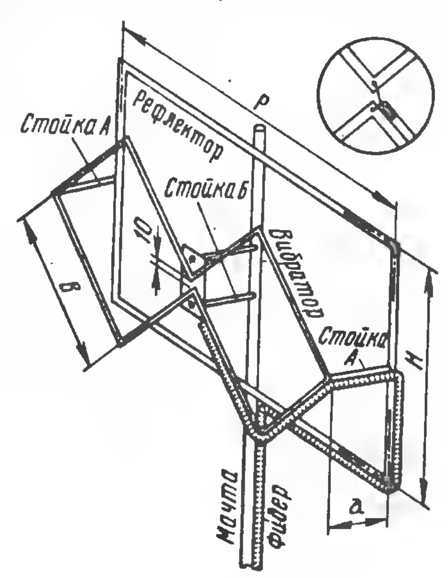


Рис. 4.9. Зигзагообразная антенна вертикальной поляризации

Диаграмма направленности этой антенны имеет только один главный лепесток, а задний практически отсутствует. Со-

гласование антенны 1—5-го каналов с фидером получается не очень хорошим, так как для его улучшения следовало бы увеличить расстояние А, но это конструктивно сложно. У антенны 6—12-го каналов согласование значительно лучше. Коэффициент усиления антенны 1—5-го каналов плавно нарастает от 7,8 дБ на первом канале до 14 дБ на пятом, а антенны 6—12-го каналов изменяется в меньших пределах от 7,8 до 10 дБ.

Еще одна зигзагообразная антенна показана на рис. 4.9. Она также содержит рефлектор и обладает такими же характеристиками, как и предыдущая, но рассчитана на вертикальную поляризацию сигнала. Рефлектор этой антенны образован металлической рамой, закрепленной на металлической мачте. К раме припаивают 15 вертикально натянутых проводов диаметром 0,8...1,2 мм на равном расстоянии один от другого. Полотно вибратора антенны и раму выполняют из металлических трубок диаметром 10...20 мм. Для улучшения согласования антенны с фидером ее размеры целесообразно выбирать конкретно для того частотного канала, сигнал которого будет приниматься этой антенной. При выборе размеров антенны под конкретный канал удается также получить бóльший коэффициент усиления антенны, чем при выполнении широкополосной антенны. Это особенно важно для антенны вертикальной поляризации, где напряженность поля обычно бывает меньше, чем при горизонтальной поляризации. Размеры антенны, показанной на рис. 4.9, приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Размеры зигзагообразной антенны с рефлектором, мм

Номер канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В	1710	1450	1130	1025	950	510	485	465	450	430	415	400
Р	4830	4090	3190	2890	2650	1430	1360	1310	1260	1210	1160	1120
Н	2600	2200	1800	1600	1500	900	800	750	700	650	625	600
а	870	725	570	500	455	240	230	220	210	205	200	195

Если полотно антенны выполнено из металлической трубки диаметром 8...16 мм для 1—5-го каналов и 4...8 мм для 6—12-го каналов, по данным К. П. Харченко коэффициент усиления антенны составляет 9 дБ.

Сравнение зигзагообразных антенн с рамочными позволяет сделать следующие выводы. Конструктивно зигзагообразные антенны проще, легко могут быть изготовлены в домашних условиях из подручных материалов и не нуждаются в согласующем устройстве. Основное достоинство зигзагообразных антенн в том, что они могут быть выполнены широкополосными для использования там, где возможен прием нескольких телевизионных программ. Однако рамочные антенны имеют значительно меньшие габариты и при сравнимых размерах более эффективны.

4.6. АНТЕННЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Антеннами бегущей волны принято называть направленные антенны, вдоль геометрической оси которых распространяется бегущая волна принимаемого сигнала. Обычно антенна бегущей волны состоит из собирательной линии, к которой подключено несколько вибраторов, расположенных на одинаковом расстоянии один от другого. Наведенные электромагнитным полем ЭДС в вибраторах складываются в собирательной линии в фазе и поступают в фидер. Коэффициент усиления антенны бегущей волны определяется длиной собирательной линии и пропорционален отношению этой длины к длине волны принимаемого сигнала. Кроме того, коэффициент усиления антенны зависит от направленных свойств вибраторов, подключенных к собирательной линии. Хотя по определению к антеннам бегущей волны должны относиться и такие антенны, как антенны типа «Волновой канал», однако обычно их выделяют в отдельную группу. У антенны «Волновой канал» один вибратор активный, остальные — пассивные, лишь переизлучающие принятую ими энергию сигнала, которая частично аккумулируется активным вибратором. У антенны бегущей волны все вибраторы активные, принятая ими энергия сигнала передается в собирательную линию. Если антенны «Волновой канал» являются узкополосными и способны эффективно принимать сигнал только по одному определенному частотному каналу, которому соответствуют их размеры, то антенны бегущей волны широкополосные и совершенно не нуждаются в настройке.

Одна из возможных конструкций телевизионных антенн бегущей волны, предложенная В. Д. Кузнецовым, показана на рис. 4.10.

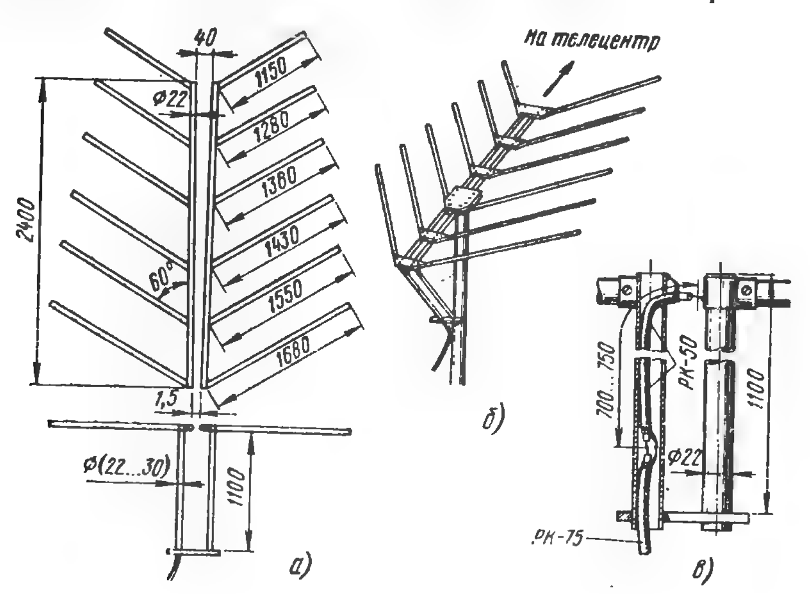


Рис. 4.10 Антенна бегущей волны

Собирательная линия образована двумя металлическими трубками диаметром 22...30 мм и представляет собой двухпроводную линию переменного волнового сопротивления. Для этого она выполнена расходящейся под небольшим углом, что обеспечивается установкой небольших изоляционных пластинок из оргстекла между трубками собирательной линии у ее концов и в середине. К каждой из трубок собирательной линии под углом 60° присоединены трубки такого же диаметра, которые образуют шесть вибраторов, согнутых под углом 120°. Такие вибраторы обеспечивают значительное уменьшение заднего лепестка диаграммы направленности антенны, благодаря чему в бо́льшей части рабочего диапазона КЗД антенны оказывается не менее 14 дБ. Трубки собирательной линии скреплены между собой расположенными сверху и снизу пластинами из изоляционного материала, средняя из которых используется для укрепления антенны на мачте.

Фидер подключают к антенне с помощью короткозамкнутого шлейфа, образованного двумя металлическими трубками с перемычкой в нижней части. Фидер в виде 75-омного кабеля входит внутрь левой трубки шлейфа снизу. К его концу подключен отрезок 50-омного кабеля, который служит трансформатором. Другой конец этого отрезка кабеля выходит через верхний конец левой трубки шлейфа. Здесь оплетка кабеля припаивается к левой трубке шлейфа, а центральная жила — к правой. Длина шлейфа 1100 мм и трансформатора 700 мм выбраны так, что в диапазоне 1—5-го каналов они соответствуют примерно 1/4 длины волны, а в диапазоне 6—12-го каналов — 3/4 длины волны, если брать среднюю длину волны этих диапазонов. Это обеспечивает приемлемое согласование антенны с фидером. Диаметр трубок, из которых выполнен короткозамкнутый шлейф, может быть произвольным. Антенна является 12-канальной с коэффициентом усиления на 1—2-м каналах 3,5 дБ, на 3—5-м каналах 4,6 дБ и на 6—12-м каналах 8 дБ.

4.7. ЛОГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ АНТЕННЫ

Направленные свойства большинства антенн изменяются при изменении длины волны принимаемого сигнала. У узкополосных антенн резко падает коэффициент усиления, а у широкополосных его изменение носит монотонный характер. Один из типов антенн с неизменной формой диаграммы направленности в широком диапазоне частот — антенны с логарифмической периодичностью структуры ЛПА. Эти антенны отличаются широким диапазоном: отношение максимальной длины волны принимаемого сигнала к минимальной превосходит десять. Во всем диапазоне обеспечивается хорошее согласование антенны с фидером, а коэффициент усиления практически остается постоянным.

Внешний вид ЛПА показан на рис. 4.11, а. Она образована собирательной линией в виде двух труб, расположенных одна над другой, к которым крепятся плечи вибраторов поочередно через один. Схематически такая антенна показана на рис. 4.11, б. Сплошными линиями изображены плечи вибраторов, соединенные с верхней трубой собирательной линии, а штриховой линией — соединенные с нижней трубой. Рабочая полоса частот антенны со стороны наибольших длин волн зависит от размеров наиболее

длинного вибратора B1, а со стороны наименьших длин волн — от размеров, наиболее короткого вибратора. Вибраторы вписаны в равнобедренный треугольник с углом при вершине α и основанием,

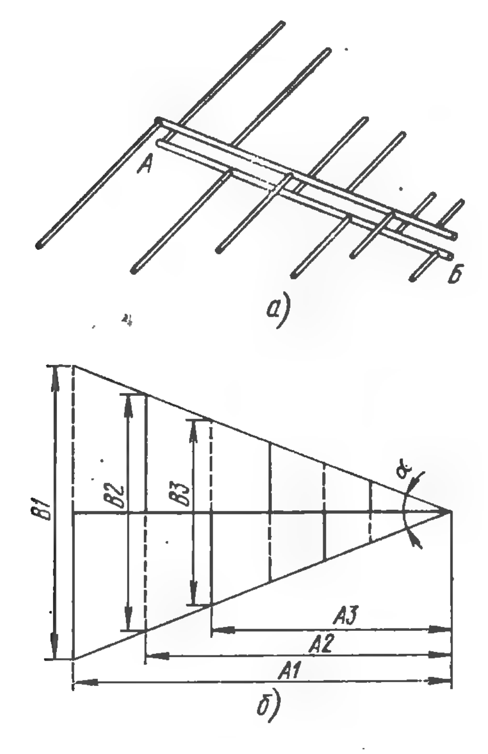


Рис. 4.11. Логопериодическая антенна

равным наибольшему вибратору. Для логарифмической структуры полотна антенны должно быть выполнено определенное соотношение между длинами соседних вибраторов, а также между расстояниями от них до вершины структуры. Это соотношение носит название периода структуры τ:

$$B_2/B_1=B_3/B_2=\ldots=A_2/A_1=A_3/A_2=\ldots=\tau.$$

Таким образом, размеры вибраторов и расстояния до них от вершины треугольника уменьшаются в геометрической прогрессии. Характеристики антенны определяются периодом структуры и углом при вершине описанного треугольника. Чем меньше угол α и чем больше период структуры τ (который всегда остается меньше единицы), тем больше коэффициент усиления антенны и меньше уровень заднего и боковых лепестков диаграммы направленности. Однако при этом увеличивается число вибраторов структуры, растут габариты и масса антенны. Поэтому при выборе угла и периода

структуры приходится принимать компромиссное решение. Наиболее часто угол α выбирают в пределах 30...60°, а период структуры τ — в пределах 0,7...0,9.

Подключение фидера к ЛПА, показанной на рис. 4.11, а, производится без специального симметрирующего и согласующего устройства следующим образом. Кабель с волновым сопротивлением 75 Ом вводится внутрь нижней трубы с конца А и выходит у конца Б. Здесь оплетка кабеля припаивается к концу нижней трубы, а центральная жила — к концу верхней трубы. В зависимости от длины волны принимаемого сигнала в структуре антенны возбуждаются несколько вибраторов, размеры которых наиболее близки к половине длины волны сигнала. Поэтому ЛПА по принципу действия напоминает несколько антенн «Волновой канал», соединенных вместе, каждая из которых содержит вибратор, рефлектор и директор. На данной длине волны сигнала возбуждается только одна тройка вибраторов, а остальные настолько расстроены, что не оказывают влияния на работу антенны. Это приводит к тому, что коэффициент усиления ЛПА оказывается меньше, чем коэффициент усиления антенны «Волновой канал» с таким же числом элементов, но зато полоса пропускания получается значительно шире.

Как видно из приведенных конструкций антенн бегущей волны и логопериодических, для достижения широкополосности используется принцип взаимной расстройки элементов антенны подобно тому, как в широкополосных усилителях расширение полосы пропускания достигается взаимной расстройкой контуров. Как для усилителей, так и для антенн можно считать общим принципом постоянство для данной конструкции произведения коэффициента усиления на полосу пропускания. Чем шире полоса пропускания, тем меньше коэффициент усиления при данных габаритах антенны.

В радиолюбительской литературе приводилось много различных вариантов ЛПА. Здесь можно предложить конструкцию ЛПА, рассчитанной на работу в диапазоне 12-метровых каналов, размеры которой сведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Размеры 12-канальной ЛПА, мм

Номер вибратора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В	3000	2520	2117	1778	1494	1255	1054	855	744	625
а	579	487	409	343	289	242	204	170	144	

В таблице приводится длина В каждого вибратора в соответствии с рис. 4.11, б, а также расстояние от данного вибратора до следующего — а. Собирательная линия образована двумя трубами диаметром 30 мм при расстоянии между осевыми линиями труб 45 мм. Антенна содержит 10 вибраторов (20 половинок), которые выполнены из трубок диаметром 8...15 мм. Расчет антенны проведен, исходя из значений угла при вершине описанного треугольника α=45° и периода структуры τ=0,84. Расчетный коэффициент усиления антенны составляет 6 дБ, что соответствует увеличению напряжения сигнала на выходе этой антенны в 2 раза по сравнению

с полуволновым вибратором. Коэффициент усиления практически не изменяется по диапазону. Длина труб собирательной линии составляет 2900 мм. Трубы немного выступают за точки установки самых коротких полувибраторов. Для обеспечения параллельности труб собирательной линии и их стяжки используют три пары брусков из оргстекла высотой 120 мм, шириной 50 мм и толщиной 25 мм, в которых делаются полуцилиндрические проточки глубиной 14 мм на расстоянии, соответствующем расстоянию между трубами. Каждая пара брусков стягивается винтами с гайками. Среднюю пару этих брусков устанавливают в центре тяжести антенны и крепят к мачте.

Антенна приведенной выше конструкции является плоской. Существуют также объемные конструкции логопериодических антенн, которые характеризуются тем, что трубы собирательной линии не параллельны, а разведены под некоторым углом. Вместо жестких вибраторов полотно антенны может быть выполнено из провода или антенного канатика. Описание конструкций двух таких антенн приводилось в журнале «Радио», 1960 г., № 8, а описание плоской упрощенной проволочной ЛПА — в журнале «Радио», 1963 г., № 5.

4.8. АНТЕННЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

В нашей стране и в большинстве других стран мира для телевизионного вещания принята горизонтальная поляризация излучаемых радиоволн. Поляризация излучаемой волны определяется положением передающей антенны, так как направление электрических силовых линий электромагнитного поля (вектор E) совпадает с направлением тока в передающей антенне. В свободном пространстве один вид поляризации не имеет каких-либо преимуществ перед другим, они равноценны. Реальные же условия распространения электромагнитных волн горизонтальной или вертикальной поляризации оказываются не одинаковыми. При горизонтальной поляризации радиоволны легче преодолевают препятствия и проникают за линию горизонта за счет дифракции. Это приводит к увеличению радиуса уверенного приема сигнала. В условиях городской застройки, изобилующей вертикальными отражающими объектами в виде стен зданий, металлических и железобетонных столбов, водосточных труб, пожарных лестниц, деревьев, сигналы горизонтальной поляризации претерпевают меньше отражений, вызывающих повторы на экранах телевизоров. Системы зажигания двигателей внутреннего сгорания автомототранспорта создают помехи с преобладанием вертикально поляризованной составляющей. Да и конструкции антенн для приема сигнала с горизонтальной поляризацией оказываются проще.

Тем не менее в последние годы всё чаще вводят в строй телевизионные ретрансляторы, излучающие сигнал с вертикальной поляризацией. Это связано с тем, что для многопрограммного телевизионного вещания выделенных диапазонов частот уже не хватает, так как во избежание взаимных помех передатчики, работающие на одинаковых частотных каналах, должны располагаться один от другого на значительном расстоянии, около 500 км. Тогда, находясь в зоне уверенного приема одного передатчика, окажется невозможен прием помехи, создаваемой другим. Если же второй передатчик бу-

дет излучать сигнал другого вида поляризации, это расстояние можно значительно сократить. Ведь антенна горизонтальной поляризации принимает сигнал с вертикальной поляризацией во много раз слабее.

В принципе, любая антенна, рассчитанная на горизонтальную поляризацию сигнала, может принимать вертикально поляризованный сигнал, если эту антенну повернуть на 90° вокруг воображаемой оси, представляющей собой направление на передатчик. Так, вибраторы антенн «Волновой канал» для горизонтальной поляризации сигнала должны располагаться горизонтально. Для приема же сигнала с вертикальной поляризацией достаточно повернуть антенну так, чтобы ее вибраторы заняли вертикальное положение.

Трудности при приеме сигнала с вертикальной поляризацией состоят в том, что вблизи антенны в этом случае не должно находиться вертикально расположенных проводящих предметов. Поэтому, например, мачта, которая может быть металлической для антенны горизонтальной поляризации, в случае установки антенны вертикальной поляризации должна быть выполнена из хорошего диэлектрика, по крайней мере, если не вся мачта, то ее верхняя часть размером не менее длины волны принимаемого канала. Другой способ — установка антенны вертикальной поляризации на Г-образной опоре, что обеспечивает удаление антенны от вертикальной мачты. Фидер, симметрирующее и согласующее устройство поблизости от антенны также не должны быть расположены вертикально.

4.9. АНТЕННЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Некоторые заводы нашей промышленности выпускают телевизионные антенны коллективного и индивидуального пользования. Телевизионные антенны коллективного пользования в розничную продажу не поступают, а продаются оптом предприятиям, которые занимаются установкой этих антенн на крышах зданий жилого и общественного фонда, а также монтажом антенных распределительных сетей. Заявки на установку коллективных антенн подаются владельцами зданий. Коллективные антенны устанавливают только в зоне уверенного приема телевизионной передачи. В зависимости от напряженности поля в точке приема и от числа абонентов коллективной антенны ее комплектуют специальным усилительным устройством для того, чтобы обеспечить достаточно высокий уровень напряжения сигнала в магистрали, к которой подключены абонентские отводы. Это необходимо в связи с тем, что во избежание взаимных помех между телевизионными приемниками каждый абонентский отвод должен иметь слабую связь с магистралью коллективной антенны. Конструкции коллективных антенн могут быть рассчитаны на прием одной или нескольких программ в зависимости от того, сколько программ можно принимать в данной местности.

Телевизионные антенны индивидуального пользования поступают в розничную продажу в магазины радиотоваров или культтоваров. Там же можно приобрести коаксиальный кабель. В комплект наружной индивидуальной антенны обязательно входят руководство по эксплуатации и описание антенны с инструкцией по ее монтажу, включающее порядок сборки, установки и ориентирования антенны, рекомендации по срокам профилактических осмотров и

ремонтов, а также указания по безопасности. В комплект может также входить опора (мачта) для установки антенны на крыше здания и коаксиальный кабель с номинальным значением волнового сопротивления 75 Ом длиной 15...25 м.

Наружные антенны коллективного и индивидуального пользования выпускают в соответствии с действующим стандартом ГОСТ 11289—80 «Антенны телевизионные приемные. Типы, основные параметры и общие технические требования». Условное обозначение всех антенн начинается с букв АТ — антенна телевизионная. В обозначении наружных антенн третья буква указывает назначение антенны: К — коллективная или И — индивидуальная. Четвертая буква указывает исполнение антенны: Г — для горизонтальной поляризации сигнала или В — для вертикальной поляризации. Если в обозначение входят буквы Г(В), это означает, что данная антенна пригодна для приема сигнала как с горизонтальной поляризацией, так и с вертикальной, если ее повернуть при установке на 90° относительно указанного в инструкции положения. Иногда в инструкции приводится рисунок, показывающий, как должна быть установлена такая антенна при той или другой поляризации. Далее через тире следует группа цифр: первая цифра указывает тип антенны, вторая — категорию сложности условий приема, третья — номер частотного канала, в полосе которого работает антенна, четвертая — порядковый номер разработки. Антенны подразделяют на 7 типов в зависимости от числа принимаемых радиоканалов или диапазонов частот: 1 — одноканальные антенны, работающие в полосе частот одного телевизионного канала, расположенного в I, II или III диапазоне частот; 2 — многоканальные антенны, работающие в полосах частот двух или нескольких каналов; 3 — широкополосные антенны, работающие в I и II диапазонах частот; 4 — широкополосные антенны, работающие в III диапазоне частот; 5 — широкополосные антенны, работающие в IV и V диапазонах частот; 6 — широкополосные антенны, работающие в I—III диапазонах частот; 7 — широкополосные антенны, работающие во всех диапазонах. Условия приема делятся на три категории сложности: 1 — наиболее легкая, 2 — средней степени сложности и 3 — наиболее сложная. Конструкция и электрические параметры антенны соответствуют степени сложности приема. ГОСТ регламентирует значения коэффициента усиления и КЗД для каждого типа антенны и для каждой категории приема раздельно для коллективных и индивидуальных антенн. Требования к индивидуальным антеннам ниже, значения коэффициента усиления для индивидуальных антенн категории приема 1 не нормированы. Согласно этим требованиям наибольшим усилением должны обладать индивидуальные антенны типа 1 для категории приема 3: в диапазонах I и II — не менее 6,5 дБ, в диапазоне III — не менее 9,5 дБ.

В связи с тем что индивидуальные телевизионные антенны промышленного изготовления обладают сравнительно небольшим коэффициентом усиления, их можно использовать только в зоне прямой видимости, но не далее чем на расстоянии, составляющем примерно 70% расстояния, соответствующего границе прямой видимости. Для уверенного приема телевизионных передач в дальней части зоны прямой видимости и в зоне полутени антенны промышленного изготовления непригодны из-за недостаточного коэффициента усиления.

В этих условиях любители дальнего приема телевидения используют самодельные антенны с повышенным коэффициентом усиления.

Рассмотрим еще одну антенну промышленного изготовления, которая была разработана до введения ГОСТ 11289—80, поэтому ее обозначение отличается от установленного этим стандартом,— АТВК-7/6-12 (антенна телевизионная «Волновой канал» семиэлементная, рассчитанная на прием передач в диапазоне 6—12-го каналов). Внешний вид антенны и ее размеры показаны на рис. 4.12. Антенна содержит широкополосный петлевой вибратор из трех па-

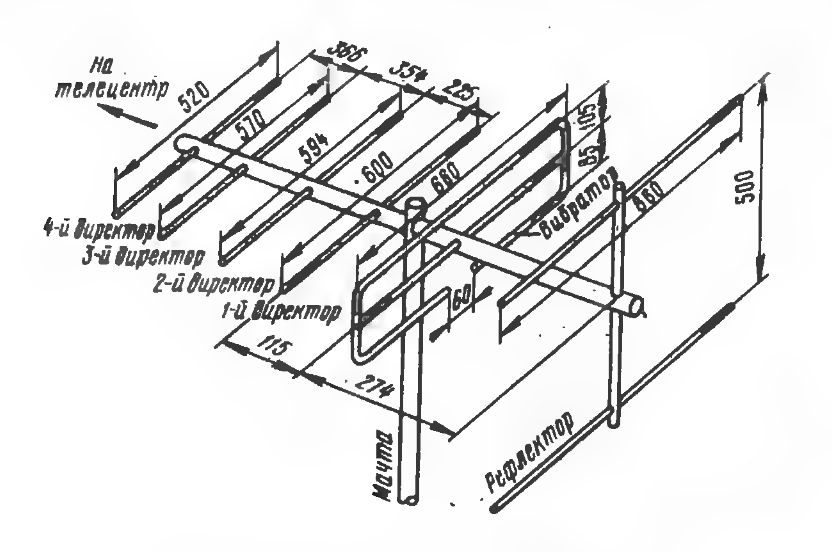


Рис. 4.12. Антенна типа АТВК-7/6-12

раллельных трубок, сдвоенный рефлектор и четыре директора. Конструкция вибратора расширяет полосу пропускания антенны, а также увеличивает ее входное сопротивление, что благоприятно сказывается на согласовании антенны с фидером. Сдвоенный рефлектор значительно увеличивает КЗД антенны. Фидер подключается к концам вибратора с помощью симметрирующей петли длиной 480 мм. Коэффициент усиления этой антенны во всем диапазоне частот оказывается не менее 8 дБ, неравномерность коэффициента усиления по диапазону не превышает 1,6 дБ. Коэффициент защитного действия антенны не менее 30 дБ. Согласование антенны с фидером характеризуется коэффициентом бегущей волны в фидере, который находится в пределах 0,7 ... 0,8, что соответствует передаче мощности сигнала, принятого антенной, в фидер не менее 97%. Антенну АТВК-7/6-12 широко используют в качестве коллективной в тех случаях, когда имеется возможность приема нескольких телевизионных программ, которые передаются в диапазоне III, т. е. на каналах с шестого по двенадцатый. Антенну можно также использовать и в качестве индивидуальной в аналогичных условиях приема.

4.10. УСТАНОВКА НАРУЖНЫХ АНТЕНН

При установке наружных антенн необходимо неукоснительно соблюдать меры техники безопасности. Люди, устанавливающие антенны, должны быть обучены приемам освобождения человека, попавшего под напряжение, уметь практически применять приемы искусственного дыхания, оказывать первую помощь при несчастных случаях. При наличии ограждений на крутых (более 30°) крышах необходимо проверять прочность этих ограждений. Выход на такие крыши разрешается в галошах или резиновых сапогах с надетыми предохранительными поясами с прочной веревкой, закрепленной одним концом к поясу, а другим — к прочным стропилам. При этом обязательно наличие на чердаке второго человека, который должен страховать находящегося на крыше поддержанием веревки в натянутом состоянии и при необходимости оказать ему немедленную помощь. Выход на крыши, не имеющие ограждений, без предохранительных поясов и страховочных веревок запрещается. Выход на некрутые крыши, имеющие ограждения, допускается без предохранительных поясов в резиновой обуви. Такая обувь необходима по двум причинам: если крыша металлическая, резиновая обувь предохранит от поражения электрическим током при случайном прикосновении к токонесущим проводам, а также от скольжения по любой наклонной кровле. Работа на крышах во время грозы, при сильном ветре или морозе запрещена.

При работах на чердаках запрещается пользоваться открытым огнем (спичками, свечами) и курить. При необходимости освещения следует использовать переносные электролампы или электрические фонари.

При использовании лестниц и стремянок каждый раз перед работой необходимо проверять их прочность и исправность. Все металлические и деревянные лестницы должны иметь на концах брусьев резиновые башмаки. Длина лестницы должна быть такой, чтобы работающий мог стоять не выше третьей ступеньки, считая сверху. При работе на лестнице или стремянке необходимо следить, чтобы под ними не было людей. Вести работу, стоя вдвоем на одной лестнице, запрещено.

Питание электроинструмента и переносных ламп пониженного напряжения должно осуществляться через понижающий трансформатор с заземленными корпусом и вторичной обмоткой. Использование автотрансформаторов не допускается. Корпус электроинструмента, работающего при напряжении выше 36В, должен быть заземлен. Заземление допускается выполнять подключением к зачищенным поверхностям труб водопроводной сети и к металлическим конструкциям лифтов. Подключение заземления к трубам газовой сети категорически запрещается.

При выборе места установки антенны на крыше необходимо избегать близости дымовых и вентиляционных труб, так как выходящие газы оказывают разрушающее действие на металл антенны. Мачта антенны должна быть расположена на скате крыши, обращенном к двору, а не к улице. Место установки антенны должно быть выбрано так, чтобы при случайном падении антенны мачта не коснулась проводов электросети, радиотрансляции или телефона.

Антенну на крыше рекомендуется устанавливать так, как показано на рис. 4.13 с использованием подпятника и шарнирного

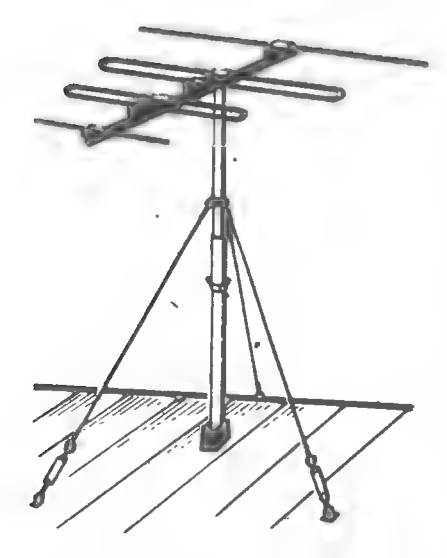


Рис. 4.13. Установка антенны на крыше

соединения с ним мачты. Подпятник и опоры оттяжек крепят через кровлю к стропилам. Оттяжки винтовыми стяжными устройствами крепят к кольцу, установленному на уступе мачты. Это позволяет поворачивать антенну при ее ориентировании. Для этого мачту выполняют составной, чтобы верхнюю часть можно было бы вращать внутри нижней, а после ориентирования закреплять в установленном положении.

Шарнирное соединение антенной мачты с подпятником позволяет легко поднять мачту на крыше, как это показано на рис. 4.14. После установки мачты в вертикальное положение ее

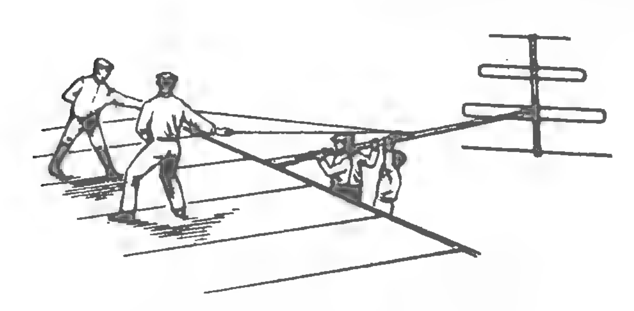


Рис. 4.14. Подъем мачты с антенной

предварительно крепят оттяжками, а затем их натягивают стяжными устройствами при контроле вертикального положения мачты.

В сельской местности мачту антенны можно устанавливать непосредственно на земле вблизи от дома. При этом мачта обычно имеет значительные высоту и массу, что сильно затрудняет ее подъем. В этом случае также удобно использовать подобие шарнира. Мачту укладывают на землю так, чтобы ее нижний конец находился в точке установки. Если мачта металлическая, к этому концу приваривается кусок трубы перпендикулярно мачте. При деревянной мачте к ней скобами крепят круглое полено и четыре оттяжки, две из них в натянутом состоянии крепят к металлическим штырям, забитым в землю с противоположных сторон от точки установки мачты. Эти штыри должны располагаться на одной прямой линии с точкой установки мачты в направлении, совпадающем с направлением приваренной к мачте трубы или прибитого полена. Эти две оттяжки будут препятствовать мачте валиться вбок при ее подъеме.

После этого за одну из свободных оттяжек с помощью стрелы мачту поднимают, вращая вокруг опоры. Придерживая мачту за вторую свободную оттяжку, ее предохраняют от падения в противоположную сторону. Чтобы опора не смещалась при подъеме мачты в направлении приложения силы, ее фиксируют двумя колышками, забитыми в землю. При подъеме тяжелой мачты для тяги можно использовать трактор.

При установке антенны на высокой мачте в сельской местности необходима ее грозозащита, иначе имеется опасность поражения молнией антенны и телевизионного приемника, а иногда и людей. Если элементы антенны гальванически соединены между собой и с металлической мачтой, для грозозащиты достаточно надежно заземлить мачту у ее основания. Для этого рядом с мачтой выкапывается узкая траншея глубиной 0,5...0,8 м и длиной 2...3 м. В траншее забиваются в землю штыри длиной не менее 1,5 м, изготовленные из стальной трубы. Мачта соединяется со штырями стальной полосой толщиной не менее 2 мм с помощью сварки. После этого в траншею засыпается несколько килограммов поваренной соли, наливается ведро воды, а затем траншея закапывается.

При деревянной мачте для соединения антенны с заземлением можно использовать оплетку коаксиального кабеля, который служит фидером. При этом необходимо проверить, соединена ли оплетка кабеля с элементами антенны, так как в некоторых конструкциях такое соединение отсутствует. Так, при использовании полуволновой симметрирующей петли или U-колена оплетку фидера можно соединить с точкой нулевого потенциала петлевого вибратора. Надежней все же вместо использования оплетки кабеля проложить вдоль мачты отдельную медную шину, заземлив ее с одной стороны и соединив со стрелой антенны. Если используется диэлектрическая стрела антенны, элементы антенны нужно специально соединить между собой в точках нулевого потенциала.

Лучшая грозозащита осуществляется установкой на вершине мачты металлического вертикально расположенного заостренного штыря такой длины, чтобы его острие располагалось хотя бы на 1,5 м выше антенны.

5. НАРУЖНЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ ДАЛЬНЕГО ПРИЕМА

5.1. ОСОБЕННОСТИ ДАЛЬНЕГО ПРИЕМА

Основная особенность дальнего приема телевизионных передач состоит в низком уровне напряженности поля принимаемого сигнала из-за большого расстояния между передающей и приемной антеннами в дальней части зоны прямой видимости и из-за затенения поверхностью земли за границей зоны прямой видимости — в зоне полутени. По мере удаления от передатчика напряженность поля монотонно уменьшается, но в зоне полутени это уменьшение становится более резким. В зоне прямой видимости увеличение расстояния от передатчика сопровождается уменьшением плотности потока мощности сигнала (уменьшается густота силовых линий поля) просто хотя бы потому, что увеличивается длина окружности

с увеличением ее радиуса. За границей зоны прямой видимости напряженность поля определяется почти исключительно дифракцией и нормальной рефракцией радиоволн.

Другая особенность дальнего приема заключается в наличии помех от других телевизионных передатчиков, работающих на том же или на соседнем частотном канале. Для ослабления таких помех действующими нормами установлены минимальные расстояния между передатчиками: около 500 км между передатчиками, работающими на одинаковых каналах, и около 300 км между передатчиками, работающими на соседних по частоте каналах. Тем не менее в условиях дальнего приема такие помехи имеют место и приходится использовать специальные меры для их ослабления.

В условиях дальнего приема сильное влияние на уровень напряженности поля оказывает погода. В случае тумана, дождя или снега резко увеличивается поглощение энергии сигнала в пространстве, особенно в диапазоне дециметровых волн, и прием иногда вообще становится невозможен.

Важное значение имеет поверхность на трассе, над которой распространяется сигнал. Сплошные и протяженные леса ухудшают условия распространения, над равниной, болотами и особенно над морем сигнал распространяется лучше. Очень плохими оказываются условия приема телевизионных передач в горных условиях, где границы зоны прямой видимости не зависят от расстояния до передатчика, а целиком определяются местным рельефом. Естественно, что и на равнинной местности встречаются холмы и долины. При этом даже на сравнительно близком расстоянии от передатчика, когда пункт приема расположен в долине, напряженность поля может оказаться достаточно низкой. Поэтому нельзя ориентироваться исключительно на расстояние до телецентра или ретранслятора, а следует учитывать рельеф местности.

Одна из особенностей дальнего приема — наличие замираний сигнала, т. е. регулярных изменений напряженности поля. В зоне полутени, где уровень напряженности поля сильно зависит от нормальной рефракции, наблюдаются суточные и сезонные изменения напряженности поля. При ясной погоде в дневное время рефракция радиоволн возрастает, и напряженность поля увеличивается. Как правило, напряженность поля увеличивается также летом. Такие медленные замирания особенно заметны на высокочастотных каналах: в диапазоне 6—12-го каналов и в дециметровом диапазоне. Помимо медленных наблюдаются также и быстрые замирания, период которых не превышает часа. Такие замирания связаны с наличием местных возмущений атмосферы на трассе при порывах ветра, наличием отдельных облаков или, наоборот, просветов в сплошной облачности. Быстрые замирания в условиях дальнего приема бывают достаточно глубокими, порой напряженность поля может изменяться в десятки раз.

Низкий уровень напряженности поля сигнала в условиях дальнего приема телевизионных передач диктует необходимость установки высокоэффективной антенны с большим коэффициентом усиления, так как напряжение принимаемого сигнала на выходе антенны определяется произведением напряженности поля на коэффициент усиления антенны. В связи с тем что радиус зоны прямой видимости определяется высотой расположения приемной антенны, в дальней части зоны прямой видимости и в зоне полутени

напряженность поля в точке приема зависит от высоты расположения антенны, причем зависимость эта оказывается примерно пропорциональной: при увеличении высоты антенной мачты вдвое напряженность поля также увеличивается в 2 раза. Поэтому всегда целесообразно использовать антенную мачту максимально возможной высоты. Установка приемной антенны с большим коэффициентом усиления на высокой мачте обеспечит увеличение напряжения сигнала на выходе антенны как при устойчивом уровне напряженности поля, так и в условиях замираний.

Для борьбы с замираниями сигнала все радиоприемники, радиовещательные и телевизионные, снабжаются системой автоматической регулировки усиления АРУ, которая уменьшает усиление приемного тракта при увеличении сигнала на входе и увеличивает усиление при его уменьшении. Однако система АРУ способна противостоять замираниям только в тех случаях, когда минимальный сигнал оказывается всё-таки больше порога чувствительности приемника. Такой уровень напряжения сигнала на входе телевизионного приемника и должна обеспечить используемая антенна.

5.2. МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ АНТЕННЫ «ВОЛНОВОЙ КАНАЛ»

Ранее уже были рассмотрены достоинства и недостатки многоэлементных антенн типа «Волновой канал» и в любительских условиях не рекомендовалось заниматься изготовлением таких антенн. В условиях дальнего приема допустимо использование многоэлементных антенн «Волновой канал» промышленного производства. Тогда есть вероятность того, что антенна настроена заводом-изготовителем.

В радиолюбительской литературе часто публикуются описания конструкций самодельных многоэлементных антенн «Волновой канал», приводятся их коэффициенты усиления и рекомендуются такие антенны для использования в условиях дальнего приема. Не подвергая сомнениям результаты, полученные авторами этих конструкций, хотелось бы заметить, что оценка пригодности той или иной конкретной конструкции антенны может быть сделана только при многократном повторении этой конструкции, а не по единичному результату. Отклики же радиолюбителей, которые пытались изготовить и установить подобные антенны, в большинстве случаев оказываются отрицательными, что свидетельствует о плохой повторяемости этих конструкций антенн. Кроме того, необходимо учесть, что отнюдь не все эксперименты по созданию многоэлементных антенн заканчиваются соответствующими публикациями. Естественно, что в тех случаях, когда получались плохие результаты, они не находили отражения в литературе. В то же время по многочисленным откликам повторяемость рамочных антенн оказывается очень высокой, да и коэффициент усиления этих антенн значительно больше. Это и вынуждает рекомендовать в условиях дальнего приема применение рамочных антенн вместо антенн «Волновой канал».

5.3. МИФЫ О «ЧУДЕСНЫХ» АНТЕННАХ

Телевизионные антенны, предназначенные для дальнего приема передач, как правило, отличаются большими габаритами и сравнительно сложной конструкцией. Особенно большие габариты имеют антенны, рассчитанные на прием сигнала по первому и второму частотным каналам, которые являются самыми длинноволновыми в диапазоне, отведенном для телевидения. Поэтому каждый любитель дальнего приема телевизионных программ стремится найти такую конструкцию антенны, которая обладала бы большим коэффициентом усиления и в то же время имела минимальные габариты и простейшую конструкцию. Подобные требования противоречивы и не могут быть выполнены, так как в природе за все приходится «платить»: в данном случае за увеличение коэффициента усиления приходится платить увеличением габаритов антенны. Кроме того, возникает естественное возражение: если бы можно было создать такую антенну, кто бы стал строить крупногабаритные антенны?

Тем не менее некорректный спрос рождает соответствующие предложения. Поэтому время от времени в периодической литературе появляются статьи с описаниями чудодейственных антенн, позволяющих получить уверенный прием телевизионных передач на очень больших расстояниях от телецентра при малых размерах и простой конструкции антенн. Некоторые конструкции таких антенн содержат жидкую ртуть или металлические опилки. Подобные сообщения вызваны заблуждением или недобросовестностью авторов статей и технической неграмотностью редакторов. Благодаря поверхностному эффекту высокочастотные токи сигнала, принятого антенной, протекают исключительно по тончайшему поверхностному слою металла антенны, толщина которого не превышает сотых долей миллиметра. Свойства глубинных слоев материала совершенно не влияют на работу антенны. Антенны, элементы которых выполнены из сплошного прутка, из трубок или даже из тонкой фольги, наклеенной на деревянные бруски, работают совершенно одинаково при одинаковых наружных размерах. При проверках указанных сообщений оказывается, что конструктор такой антенны принимал сигнал близкорасположенного ретранслятора, который транслировал передачу далеко расположенного телецентра, или имел место случайный сверхдальний прием благодаря благоприятно сложившимся условиям распространения сигнала. Когда же такая антенна проверялась на прием известного телевизионного передатчика, никаких чудес, естественно, не обнаруживалось.

Предпринимались также попытки добиться резкого уменьшения размеров антенны по сравнению с длиной волны принимаемого канала. В одной из статей предлагалось поместить приемную антенну в коробку из оргстекла, наполненную дистиллированной водой. Исходя из того, что вода обладает диэлектрической проницаемостью, равной 80, длина волны в воде должна быть в 9 раз короче, чем в воздухе. Поэтому размеры такой антенны должны быть также в 9 раз меньше, чем в воздухе. Однако при этом упускалось из виду, что для действительного проявления такого эффекта антенна должна находиться в свободной и равномерной среде, а для этого размеры сосуда с водой должны быть хотя бы в несколько раз больше длины волны. Тогда действительно в сосуд можно поместить малогабаритную антенну.

В периодической печати иногда приводятся самые разные конструкции антенн нетрадиционного устройства с использованием различных цилиндрических или конических пружин, а также и других экзотических элементов. Телевизионный прием на такие антенны, конечно, возможен, как возможен он на любой кусок обычного провода. Но ожидать каких-то улучшенных характеристик подобных антенн или какого-то полезного эффекта от их применения не следует. Всегда затраты времени и средств на изготовление и установку таких антенн оказываются напрасными.

Часто некоторые радиолюбители или любители дальнего приема телевизионных программ спрашивают, можно ли устанавливать телевизионные антенны нетрадиционной конструкции, не противоречит ли их установка действующим законам и положениям. В нашей стране, как впрочем и во всем мире, никаких запретов на конструкции приемных антенн нет. Можно устанавливать антенны любой конструкции, если вообще разрешается установка индивидуальных антенн на крыше. Дело в том, что на крышах зданий, оборудованных коллективными телевизионными антеннами, установка индивидуальных антенн запрещена, исходя исключительно из архитектурно-эстетических соображений. В отдельных же случаях по ходатайствам местного радиоклуба зарегистрированным радиолюбителям районный архитектор может разрешить установку индивидуальной антенны, необходимой для работы.

Отдельно следует предостеречь радиолюбителей от постройки телевизионных антенн с использованием ртути. Дело в том, что работа с открытой ртутью чрезвычайно опасна. Ртуть легко испаряется на воздухе при комнатной температуре даже через значительный слой воды. Пары ртути очень ядовиты, и их вдыхание даже при малых концентрациях приводит к опасным отравлениям. Хранение ртути допускается только в герметических металлических сосудах. Использовать сосуды из стекла категорически запрещается, так как они легко бьются. Пролитую ртуть нужно тщательно собрать, не касаясь ее руками, так как она всасывается в кожу. Особенно необходимо беречь детей от контактов с ртутью, так как они могут трогать ее руками и даже брать в рот.

5.4. СИНФАЗНЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ

Синфазная антенная решетка представляет собой сложную направленную антенную систему, состоящую из отдельных слабонаправленных антенн, разнесенных в пространстве и расположенных таким образом, что фазы наведенных в них сигналов оказываются одинаковыми. Антенны в решетке соединяют между собой, они должны работать на общую согласованную нагрузку. Как правило, синфазную решетку собирают из одинаковых антенн, расположенных в несколько рядов и несколько этажей. Схема соединения антенн решетки должна быть составлена так, чтобы не нарушалась синфазность сигналов, поступающих от каждой антенны в нагрузку, так как только при одинаковых фазах этих сигналов они будут складываться. Кроме того, схема соединения антенн решетки одновременно должна обеспечивать их согласование с нагрузкой, так как при рассогласовании общего входного сопротивления решетки с сопротивлением нагрузки часть энергии принятого антеннами

сигнала отразится от нагрузки и будет излучаться обратно в пространство, что приведет к уменьшению коэффициента усиления антенной решетки.

Использование вместо одной антенны нескольких таких же антенн, соединенных в синфазную решетку, приводит к увеличению сигнала на выходе такой антенной системы, сужению диаграммы направленности и в результате к увеличению коэффициента усиления по сравнению с коэффициентом усиления одиночной антенны, входящей в состав решетки. Увеличение коэффициента усиления синфазной антенной решетки происходит за счет двух факторов.

Во-первых, в каждой антенне решетки электромагнитным полем принимаемого передатчика наводится сигнал определенной мощности, той самой, которая наводилась бы в одиночной антенне данного типа, а затем мощности сигналов, принятых всеми антеннами, складываются в нагрузке. Поэтому результирующая мощность сигнала на выходе синфазной решетки во столько же раз больше мощности сигнала на выходе одиночной антенны того же типа, сколько антенн содержится в решетке. В связи с тем что сопротивление нагрузки остается неизменным, независимо от того, используется одна антенна или несколько, напряжение результирующего сигнала на выходе синфазной решетки увеличивается по сравнению с напряжением сигнала на выходе одиночной антенны того же типа не во столько раз, сколько антенн содержится в решетке, а в число, равное корню квадратному из числа антенн. Так, при наличии в решетке четырех антенн мощность сигнала на выходе решетки увеличивается в 4 раза, а напряжение — в 2 раза (на 6 дБ), при девяти антеннах мощность увеличивается в 9 раз, а напряжение сигнала — в 3 раза (на 9,5 дБ) и т. д. Соответственно увеличивается коэффициент усиления синфазной решетки по сравнению с коэффициентом усиления одиночной антенны.

Во-вторых, поперечные размеры антенной решетки относительно направления, с которого приходит сигнал, больше поперечных размеров одиночной антенны. Иначе говоря, при использовании синфазной решетки увеличивается поверхность абсорбции антенны, та поверхность, из которой антенна поглощает мощность электромагнитного поля. Это приводит к сужению диаграммы направленности антенной системы, что эквивалентно дополнительному увеличению коэффициента усиления антенны, т. е. дополнительному увеличению напряжения сигнала на выходе решетки. Сужение диаграммы направленности решетки обусловлено тем, что только те сигналы, которые принимает каждая антенна с главного направления, перпендикулярного плоскости решетки, оказываются синфазными. Сигналы же, приходящие под углом к главному направлению, поступают к антеннам решетки, разнесенным в пространстве, не одновременно, а со сдвигом во времени или по фазе. Таким образом, сигналы, приходящие под углом, за счет разности хода наводят в антеннах решетки напряжения, сдвинутые по фазе, которые складываются геометрически, как векторы. Их геометрическая сумма оказывается меньше арифметической суммы напряжений, наведенных в антеннах решетки сигналами, приходящими с главного направления. Чем больше поперечные размеры решетки, тем больше разность хода сигналов, приходящих под тем же самым углом к главному направлению, и тем больше сдвиг фаз, т. е. меньше результирующий сигнал. Следовательно, с увеличением поверхности

абсорбции сужается диаграмма направленности и увеличивается коэффициент усиления синфазной решетки. Увеличение вертикального размера решетки сужает диаграмму направленности в вертикальной плоскости, увеличение горизонтального размера решетки сужает диаграмму направленности в горизонтальной плоскости. Теоретически увеличение поверхности абсорбции вдвое должно приводить к увеличению коэффициента усиления решетки на 3 дБ.

Таким образом, можно определить коэффициент усиления синфазной антенной решетки. В первую очередь он зависит от коэффициента усиления антенн, входящих в состав решетки, и должен быть увеличен за счет увеличения числа антенн решетки, а также за счет увеличения поверхности абсорбции решетки по сравнению с поверхностью абсорбции одиночной антенны.

Часто допускается ошибка, когда число антенн, входящих в состав решетки, не учитывают, а исходят только из коэффициента усиления одиночной антенны и увеличения поверхности абсорбции. Истоки этой ошибки лежат в аналогии между приемными и передающими антеннами, исходя из принципа взаимности. При рассмотрении передающей антенны предполагается, что мощность передатчика постоянная и не зависит от числа антенн в решетке. При увеличении числа антенн мощность, приходящаяся на каждую антенну, уменьшается. Соответственно уменьшается и та доля энергии электромагнитного поля, которая обусловлена излучением каждой из антенн решетки. Поэтому напряженность поля в точке приема не зависит от числа антенн в решетке передающей антенны. Если бы к каждой антенне передающей решетки был подключен свой передатчик, увеличение числа антенн в решетке приводило бы к увеличению излученной энергии. При этом напряженность поля в точке приема увеличивалась бы от увеличения не только эффективной поверхности решетки (эквивалентной поверхности абсорбции приемной антенны), но и числа антенн в решетке. Именно в этих условиях применима аналогия между передающей и приемной антеннами, так как напряженность поля в точке приема считается неисчерпаемой и не уменьшается при увеличении числа антенн в решётке приемной антенной системы.

Исходя из приведенных соображений, можно сделать вывод: при увеличении числа антенн синфазной решетки в 2 раза и таком же увеличении поверхности абсорбции коэффициент усиления решетки должен увеличиться на 6 дБ. На практике, однако, такого увеличения коэффициента усиления по сравнению с одиночной антенной не получается в связи с тем, что происходит частичное перекрытие поверхностей абсорбции отдельных антенн и неизбежно некоторое рассогласование в цепях фазирования антенн и в цепях согласования сопротивлений антенн и нагрузки. Поэтому в зависимости от расстояния между антеннами можно считать, что при увеличении числа антенн в решетке в 2 раза коэффициент усиления увеличивается в пределах 4...5 дБ.

Форма диаграммы направленности синфазной антенной решетки определяется диаграммой направленности антенн, составляющих решетку, и конфигурацией самой решетки (число рядов, число этажей и расстояния между ними). При двух ненаправленных антеннах, размещенных рядом на расстоянии, равном половине длины волны (между осями антенн), диаграмма направленности в горизонтальной плоскости имеет вид восьмерки, а прием с боковых

направлений, перпендикулярных главному, отсутствует. Если увеличивать расстояние между антеннами, ширина главного лепестка диаграммы направленности уменьшается, но появляются боковые лепестки с максимумами в направлениях, перпендикулярных главному. При расстоянии между антеннами 0,6 длины волны уровень боковых лепестков составляет 0,31 уровня главного лепестка, а ширина диаграммы направленности по половинной мощности уменьшается в 1,2 раза относительно решетки с расстоянием между антеннами, равным λ/2. При расстоянии между антеннами 0,75 длины волны уровень боковых лепестков увеличивается до 0,71 уровня главного, а ширина диаграммы направленности уменьшается в 1,5 раза. Наконец, при расстоянии между антеннами, равном длине волны, уровень боковых лепестков достигает уровня главного лепестка, но ширина диаграммы направленности уменьшается в 2 раза по сравнению с расстоянием между антеннами в полволны. Из этого примера видно, что целесообразнее выбирать расстояния между антеннами, равными длине волны. Это обеспечивает наибольшее сужение главного лепестка диаграммы направленности. Наличия боковых лепестков опасаться нет нужды, так как при использовании в составе решетки направленных антенн они с направлений, перпендикулярных главному, сигналов не принимают.

Располагать антенны в решетке на расстояниях, меньших половины длины волны (даже если конструкция антенн это позволяет), нецелесообразно, так как при этом перекрываются поверхности абсорбции и эффект получается слабым. Увеличивать же расстояния сверх длины волны недопустимо, так как при этом в диаграмме направленности появляются дополнительные боковые лепестки, неперпендикулярные главному направлению.

Синфазные решетки могут быть собраны из антенн самых различных типов. Обычно в решетке используют одинаковые антенны, что упрощает их согласование с нагрузкой и фазирование. Однако не исключено использование в решетке и разных антенн. В условиях дальнего приема телевизионных передач радиолюбители в основном применяют синфазные решетки, собранные из антенн типа «Волновой канал» и рамочных. При этом к тем недостаткам многоэлементных антенн «Волновой канал», которые были рассмотрены ранее, следует добавить еще один. Две или несколько антенн этого типа, даже в том случае, если они изготовлены точно по чертежам и из одинаковых материалов, оказываются расстроены по-разному. Поэтому фазы принятых ими сигналов на выходах антенн одинаковыми не получаются и неизбежно наличие расфазирования, что значительно уменьшает коэффициент усиления решетки. Таким образом, для радиолюбителей можно считать допустимым использование синфазных решеток, собранных лишь из трехэлементных антенн «Волновой канал», естественная расстройка которых, как отмечалось ранее, незначительна и не приводит к необходимости индивидуальной настройки каждой антенны, а также к фазированию антенн в решетке.

В качестве примера на рис. 5.1 показана двухрядная антенная решетка, собранная из двух трехэлементных антенн «Волновой канал». Антенна предназначена для приема сигнала с вертикальной поляризацией на границе зон прямой видимости и полутени. Коэффициент усиления антенны составляет примерно 10 дБ. Элементы антенны выполняют из металлической трубки диаметром 12...20 мм

для антенн, работающих на 1—5-м каналах, или диаметром 8... ...15 мм для антенн, работающих на 6—12-м каналах. Стрелы могут быть металлическими или деревянными, мачта же обязательно

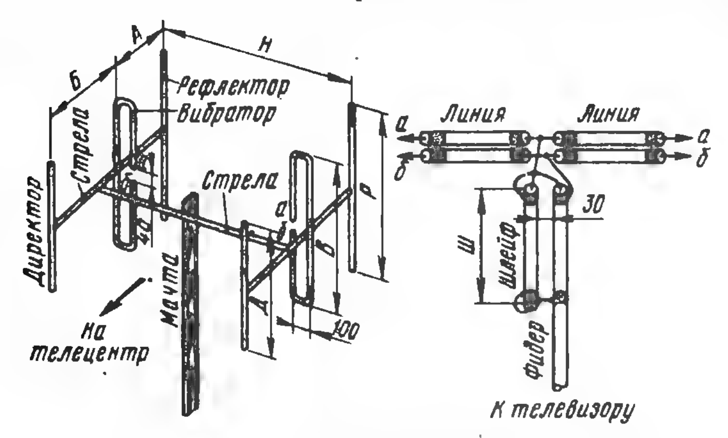


Рис. 5.1. Двухрядная синфазная решетка

должна быть выполнена из изоляционного материала и лишь на 2 м ниже антенны мачта может быть металлической. Размеры каждой антенны можно взять из табл. 4.3, а расстояние между антеннами Н и длина шлейфа Ш приводятся в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Размеры двухрядной трехэлементной антенны

Номер канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Н, мм	4500	3800	2900	2600	2400	1280	1230	1180	1130	1090	1050	1000
Ш, мм	1418	1202	932	848	778	420	402	386	370	356	343	331

Согласующее устройство состоит из двух соединительных линий и симметрирующего короткозамкнутого четвертьволнового шлейфа. Входное сопротивление каждой антенны при указанных в табл. 4.3 размерах составляет примерно 150 Ом. Линии, каждая из которых выполнена из двух отрезков 75-омного коаксиального кабеля, также имеют волновое сопротивление 150 Ом и хорошо согласуются с антеннами. Длина линий может быть взята произвольной, но обе линии должны быть одинаковой длины. В точках соединения линий два сопротивления по 150 Ом соединены параллельно, образуя 75 Ом. К этим точкам с помощью симметрирующего шлейфа подключен фидер. Шлейф и фидер выполняют также из 75-омного кабеля.

Синфазность антенн в решетке достигается применением одинаковых антенн, одинаковых линий, а также благодаря их синфазному

соединению. Для этого точки «а» обеих линий должны быть подключены именно к точкам «а» (верхним концам) вибраторов обеих антенн. Если данную антенную решетку повернуть на 90° так, чтобы элементы антенн заняли горизонтальное положение, получится двухэтажная антенная решетка, которую можно использовать для приема передач с горизонтальной поляризацией сигнала.

Использование синфазных антенных решеток позволяет при необходимости значительно увеличить коэффициент защитного действия антенны для ослабления помехи, приходящей со стороны, противоположной направлению на передатчик. Для этого в синфазной решетке нужно выдвинуть одну из антенн, например нижнюю, как показано на рис. 5.2, вперед по направлению на телецентр на четверть длины волны принимаемого канала, одновременно увеличив также на четверть длины волны в кабеле соответствующую линию, в данном случае — подключенную к нижней антенне. Сигнал, приходящий спереди, поступит к нижней антенне на 1/4 периода раньше, чем сигнал, поступивший к верхней антенне. Но за счет более длинной линии сигнал от нижней антенны будет задержан также на 1/4 периода. Таким образом, сигналы от нижней и верхней антенн к точкам соединения линий поступят одновремено, в фазе, и будут складываться. Помеха, приходящая сзади, поступит к нижней антенне с запаздыванием на 1/4 периода по сравнению с помехой, поступившей к верхней антенне. Дополнительно помеха, принятая нижней антенной, будет задержана более длинной соединительной линией еще на 1/4 периода. Таким образом, помеха, принятая нижней антенной, поступит к точке соединения линий на полпериода позже, чем помеха, принятая верхней антенной. Поэтому они окажутся в противофазе и будут вычитаться. Такой способ позволяет увеличить КЗД антенной решетки примерно на 20 дБ, если направления на источники сигнала и помехи противоположны, т. е. угол между этими направлениями составляет 180°. Однако и при меньших углах, вплоть до 150°, имеет смысл использовать такой способ увеличения КЗД. Это может понадобиться, когда слабый сигнал отдаленного телевизионного передатчика не может быть принят с удовлетворительным качеством из-за наличия ближе расположенного или более мощного передатчика, работающего на том же канале. При постройке антенной решетки с повышенным КЗД необходимо помнить, что длина волны в кабеле в 1,52 раза меньше, чем длина волны в свободном пространстве. Поэтому выдвигать одну из антенн вперед нужно на 1/4 длины волны в свободном пространстве (этот размер соответствует размеру Ш в таблицах 4.6 и 5.1), а удлинять одну из соединительных линий нужно на 1/4 длины волны в кабеле (этот размер соответствует размеру Т в таблице 4.6). Разница в размерах Ш, приведенных в указанных табли-

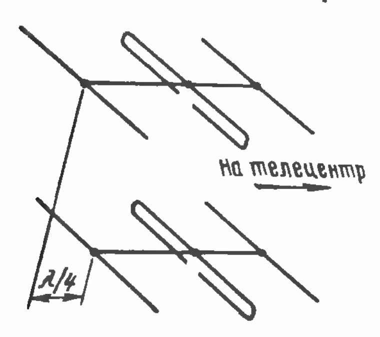


Рис. 5.2. Синфазная решетка с повышенным КЗД

цах, объясняется тем, что размеры одной из таблиц рассчитаны для настройки антенны на несущую частоту изображения, а другой — на среднюю частоту канала.

На рис. 5.3 показана четырехэтажная синфазная решетка, собранная из четырех трехэлементных антенн «Волновой канал». Размещение антенн в четыре этажа значительно сужает диаграмму направленности в вертикальной плоскости и позволяет прижать ее лепесток к земле. Это очень важно в условиях дальнего приема телевизионных передач, когда сигнал приходит с линии горизонта. Коэффициент усиления такой антенной решетки достигает 14 дБ. Размеры антенн могут быть взяты из табл. 4.3. Согласование антенн осуществляется следующим образом. Первый (нижний) этаж соединяется со вторым соединительной линией с волновым сопротивлением 150 Ом, образованной двумя отрезками 75-омного коаксиального кабеля. Длина соединительных линий, которыми соединены первый со вторым и третий с четвертым этажами, должна быть равна половине длины волны в кабеле. В связи с тем, что сигнал, проходя по линиям такой длины, задерживается на полпериода, т. е. его фаза меняется на обратную, для компенсации отрезки кабеля в линиях перекрещены. В точках питания антенн второго и третьего этажей два сопротивления по 150 Ом соединены параллельно, образуя 75 Ом. К этим точкам подключены трансформаторы, образованные отрезками 50-омного кабеля с волновым сопротивлением 100 Ом длиной Т. Поэтому в точках «в—в» входные сопротивления двух нижних этажей и входные сопротивления двух верхних этажей оказываются равными 150 Ом, соединены параллельно, образуя 75 Ом. К этим точкам и подключается фидер с помощью четвертьволнового симметрирующего шлейфа длиной Ш. Размеры трансформаторов Т и шлейфа Ш можно взять из одной из помещенных ранее таблиц. На концах линий и трансформаторов оплетки кабеля соединяют между собой. Центральную жилу фидера, соединенную с центральной жилой и оплеткой шлейфа, подключают к левой точке «в», а оплетку фидера — к правой точке «в». С оплетками трансформаторов оплетку фидера не соединяют.

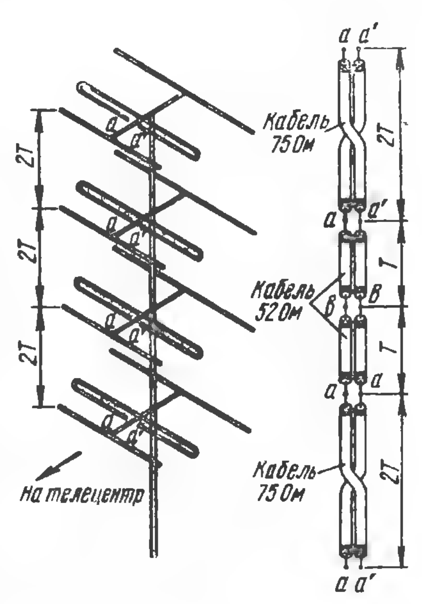


Рис. 5.3. Четырехэтажная синфазная решетка

В § 4.9 была рассмотрена семиэлементная широкополосная антенна типа АТВК-7/6-12, рассчитанная на прием передач по любому из каналов в диапазоне с шестого по двенадцатый. Широкополос-

ность этой антенны достигнута взаимной расстройкой ее элементов и в результате коэффициент усиления оказывается небольшим. Некоторые радиолюбители пытаются собирать из таких антенн синфазные решетки для увеличения коэффициента усиления и использования таких решеток в условиях дальнего приема. Все попытки приводят к отрицательным результатам по следующим причинам. Антенна АТВК-7/6-12 рассчитана на применение в сравнительной близости от телевизионного передатчика, поэтому она не согласована с фидером, а лишь симметрируется с помощью кабельной петли. Обеспечить согласование антенн в решетке по их входным сопротивлениям с волновым сопротивлением фидера во всем диапазоне невозможно, так как согласование осуществляется резонансными элементами — трансформаторами сопротивления, выполняемыми из отрезков кабеля длиной в 1/4 длины волны. Такой элемент является трансформатором только на той частоте сигнала, при которой его длина равна 1/4 длины волны. На другой частоте длина будет уже отличаться от 1/4 длины волны и как трансформатор он работать уже не будет, следовательно, произойдет рассогласование. Кроме того, антенны этого типа неидентичны по своим фазовым характеристикам. Фазы сигналов на выходах двух внешне одинаковых антенн могут быть также неодинаковыми. Это относится и к случаю, если из антенн собирается решетка, предназначенная для работы только на одном канале. В таком случае нецелесообразно использовать антенны, являющиеся широкополосными. Выгоднее использовать в решетке либо более простые антенны с таким же усилением, но стабильной фазовой характеристикой, либо антенны такой же степени сложности, но узкополосные, обладающие более высоким коэффициентом усиления. Те же соображения можно применить и к другим видам широкополосных антенн. Собирать из них синфазные решетки нецелесообразно порой из-за трудностей согласования, порой из-за трудностей фазирования.

Хорошие результаты дают синфазные решетки, собранные из рамочных антенн. В диапазонах метровых волн наибольшее распространение получили двухэтажные и двухэтажные двухрядные синфазные решетки, собранные из двухэлементных рамочных антенн. На рис. 5.4 показаны двухэтажная синфазная решетка и схема симметрирующе-согласующего устройства к ней. Обе антенны этой решетки выполняют согласно рис. 4.5 и табл. 4.5. Симметрирование антенн осуществляется четвертьволновыми симметрирующими короткозамкнутыми шлейфами, не изменяющими входного сопротивления антенн. Поэтому линии, выполненные как шлейфы из 75-омного кабеля; хорошо согласуются с антеннами. Линии берутся произвольной, но одинаковой длины. В точке соединения линий два сопротивления по 75 Ом соединены параллельно, образуя 37,5 Ом. Для согласования такого сопротивления с волновым сопротивлением фидера, которое составляет 75 Ом, используется трансформатор в виде отрезка кабеля длиной в 1/4 длины волны в кабеле. Волновое сопротивление кабеля, из которого выполняется трансформатор, определяется путем извлечения квадратного корня из произведения сопротивлений на входе и выходе трансформатора, что дает 53 Ома. Таким образом, трансформатор должен быть выполнен из кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом.

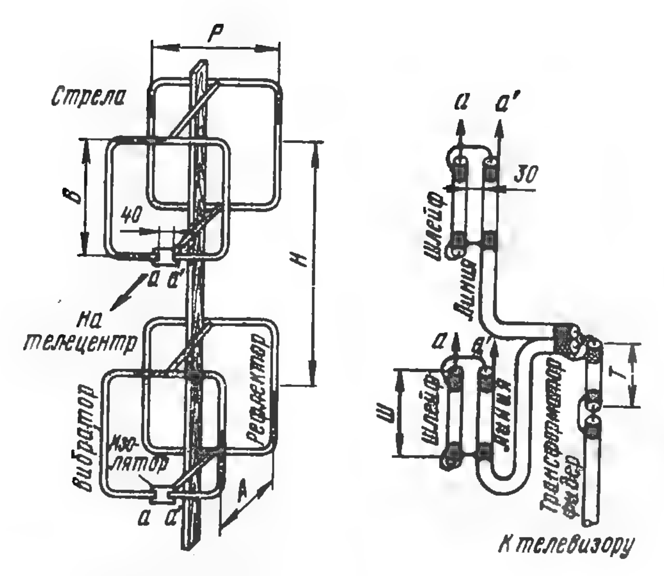


Рис. 5.4. Двухэтажная синфазная рамочная антенна

Часто возникают затруднения в связи с отсутствием отрезка 50-омного кабеля. В этом случае можно выполнить согласование по другой схеме, показанной на рис. 5.5. Все элементы этой схемы выполнены кабелем с волновым сопротивлением 75 Ом. В схеме использованы два трансформатора, включенные последовательно. Первый трансформатор образован тремя параллельными отрезками кабеля и имеет волновое сопротивление 25 Ом. Второй трансформатор образован двумя отрезками кабеля и имеет волновое сопротивление 37,5 Ом. Входное сопротивление решетки равно 37,5 Ом, на выходе первого трансформатора оно уменьшается до 16,7 Ом, а на выходе второго трансформатора увеличивается до 84,4 Ом Хотя и не обеспечивается полное согласование такого сопротивления с волновым сопротивлением фидера, равным 75 Ом. но рассогласование можно считать вполне допустимым. При этом рассогласовании коэффициент бегущей волны составляет 0,89, что соответствует передаче в фидер 98%

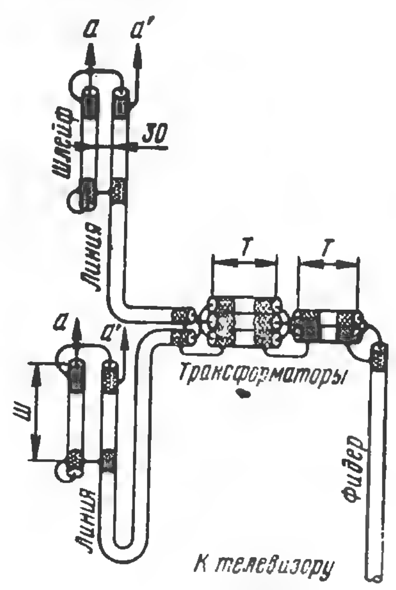


Рис. 5.5. Вариант согласования двухэтажной антенны

мощности сигнала, принятого антенной. Коэффициент усиления двухэтажной синфазной решетки из двух двухэлементных рамочных антенн примерно равен 12...13 дБ.

Если необходимо увеличить КЗД двухэтажной рамочной антенны, верхняя антенна выдвигается вперед по направлению на телецентр на расстояние, равное Ш, а верхняя линия удлиняется относительно нижней на длину Т.

Двухэтажная решетка из рамочных антенн имеет узкую диаграмму направленности в вертикальной плоскости и более широкую в горизонтальной. Это представляет большое удобство, так как антенная решетка не нуждается в тщательном ориентировании по азимуту, а узкий лепесток диаграммы направленности в вертикальной плоскости, прижатый к линии горизонта, благоприятствует дальнему приему телевизионных передач. Использовать эту антенную решетку рекомендуется в зоне полутени, прилегающей к зоне прямой видимости.

Если после установки двухэтажной синфазной решетки из рамочных антенн экспериментально будет установлено, что ее коэффициент усиления недостаточен для получения уверенного приема с хорошим качеством изображения, можно изготовить еще две рамочные антенны и собрать решетку из четырех антенн, расположенных в два ряда и в два этажа. Такая антенная решетка со схемой согласования показана на рис. 5.6. Все ее размеры берутся из таблицы 4.5. За счет удвоения рядов сужается диаграмма направлен-

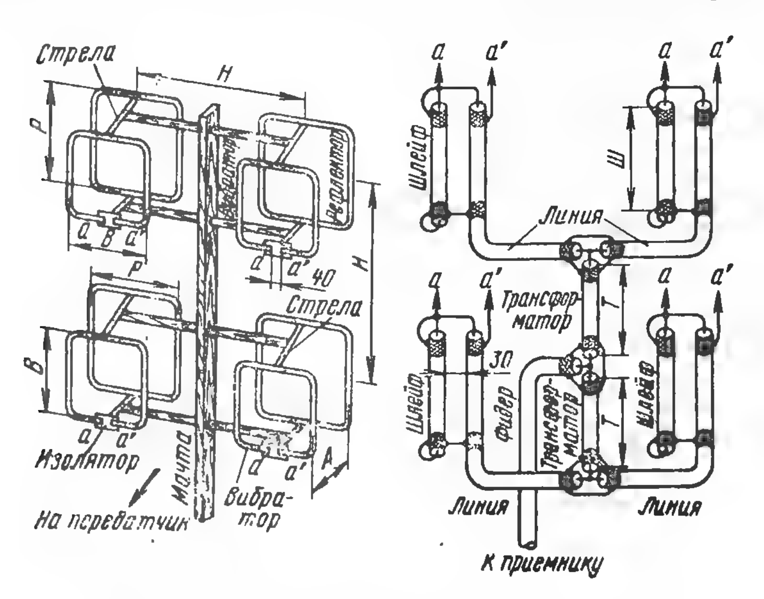


Рис. 5.6. Двухэтажная двухрядная рамочная антенна

ности решетки в горизонтальной плоскости, а коэффициент усиления возрастает до 16...17 дБ. Использовать такую антенную решетку целесообразно в дальней части зоны полутени.

Все элементы симметрирующе-согласующего устройства выполняют из отрезков 75-омного кабеля. Входное сопротивление двух верхних антенн в точке соединения верхних линий составляет 37,5 Ом. Верхний трансформатор увеличивает его до 150 Ом. Такое же входное сопротивление имеют две нижние антенны. В точке соединения трансформаторов два сопротивления по 150 Ом соединены параллельно, образуя 75 Ом. Сюда и подключается фидер. Согласование получается достаточно хорошим. Синфазность обеспечивается одинаковыми антеннами и одинаковой длиной всех четырех линий, которая может выбираться произвольно. Для соблюдения синфазности нужно обратить особое внимание на правильность подключения линий к антеннам: центральные жилы всех четырех линий подключают к левым концам вибраторных рамок, а оплетки — к правым. Иначе произойдет расфазирование.

При необходимости увеличения КЗД две верхние антенны выдвигают вперед на расстояние Ш, а обе верхние линии удлиняют относительно нижних на длину Т.

В этой конструкции антенной решетки перекладины обязательно должны быть выполнены из изоляционного материала. Можно использовать текстолит, винипласт или деревянные рейки, проваренные в каком-либо противогнилостном составе и окрашенные. Мачта может быть выполнена из металла. Во избежание прогиба перекладин мачту можно сделать выступающей вверх за пределы антенны на высоту Н/2 и подвязать все стрелы антенн к вершине мачты капроновым шнуром (использовать проволоку нельзя!). На вершине мачты можно установить громоотвод в виде заостренного металлического штыря, приваренного к мачте, если она металлическая, или соединенного толстым проводом, проведенным по деревянной мачте, с надежным заземлением у основания мачты. Металлическая мачта также надежно заземляется.

Весьма привлекательны синфазные решетки, собранные из трехэлементных рамочных антенн. Двухэтажная синфазная решетка, собранная из двух трехэлементных рамочных антенн, должна обладать коэффициентом усиления примерно 19 дБ, а двухэтажная двухрядная синфазная решетка из четырех трехэлементных рамочных антенн — около 23 дБ, что соответствует увеличению напряжения сигнала на выходе антенной решетки в 14 раз по сравнению с полуволновым вибратором. Размеры трехэлементных рамочных антенн можно взять для дециметрового диапазона из табл. 3.2, а для метрового диапазона — из табл. 4.6. Согласование осуществляется в соответствии с рис. 5.4 или 5.5 для двухэтажной решетки из двух антенн, или рис. 5.6 — для двухэтажной двухрядной решетки из четырех антенн. Согласно тем же рисункам выполняется конструкция самих антенных решеток.

Несмотря на то, что конструкция двухэтажной двухрядной решетки, собранной из трехэлементных рамочных антенн, для метровых диапазонов оказывается достаточно громоздкой (особенно для 1-го и 2-го каналов), ее можно рекомендовать для уверенного приема передач на дальней границе зоны полутени или в тех случаях, когда использование более простых антенн не дает хороших результатов.

При изготовлении трехэлементных рамочных антенн для дециметрового диапазона расстояние между концами вибраторной рамки, как показано на рис. 3.6, берется равным 15 мм. Такое небольшое

расстояние взято для того, чтобы оно было значительно меньше стороны квадрата рамки. Если же антенну выполняют для работы в метровом диапазоне, это расстояние может быть увеличено до 40 мм.

В табл. 4.6 расстояние между трехэлементными рамочными антеннами синфазной решетки по вертикали и по горизонтали H указано максимально допустимым, примерно равным длине волны для получения наибольшего коэффициента усиления. Если такие большие расстояния окажутся неприемлемыми из-за громоздкости конструкции, разнос антенн по горизонтали можно уменьшить в 1,5 раза, хотя при этом коэффициент усиления решетки уменьшится примерно на 1 дБ. Можно также уменьшить расстояние между этажами решетки также в 1,5 раза, если это необходимо, что приведет к уменьшению коэффициента усиления решетки еще на 1 дБ. Вообще вовсе не обязательно, чтобы расстояния между этажами и рядами решетки были равны между собой.

5.5. ПАССИВНЫЕ РЕТРАНСЛЯТОРЫ

Встречаются такие условия, когда уверенный прием телевизионных передач оказывается невозможен из-за чрезмерно низкого уровня напряженности поля в точке приема. Это может быть связано с большим расстоянием до телевизионного передатчика, но иногда причина состоит в том, что неблагоприятен рельеф местности и точка приема расположена в ложбине. При этом прямому прохождению сигнала препятствует наличие холма или горной преграды. В таких условиях прибегают к использованию активного или пассивного ретранслятора.

Активный ретранслятор представляет собой совокупность приемной антенны, радиоприемника полного телевизионного сигнала, преобразователя частотного спектра, радиопередатчика преобразованного сигнала и передающей антенны. Преобразователь частотного спектра необходим для того, чтобы передача сигнала ретранслятором производилась на другом частотном канале относительно того канала, по которому сигнал был принят. Это требуется для устранения помех для тех телевизоров, которые могут попасть в зону, где возможен прием и основного сигнала, и ретранслируемого. В первые годы развития массового телевидения, когда число телевизионных центров было невелико, некоторые радиолюбительские коллективы создавали радиолюбительские активные ретрансляторы для обеспечения возможности уверенного приема телевизионных передач в своем населенном пункте. В настоящее время сеть действующих телевизионных центров и государственных активных ретрансляторов стала настолько густой, что выбрать свободный номер канала, не создающий помех сигналам окружающих передатчиков, порой оказывается невозможно. Поэтому органами министерства связи категорически запрещена постройка любительских активных ретрансляторов. Установка же государственных активных ретрансляторов производится по плану, с учетом уже действующих передатчиков в каждом регионе и их частотных полос. При этом зачастую для установки нового ретранслятора приходится изменять номера каналов действующих телецентров и ретрансляторов.

Пассивный ретранслятор отличается тем, что не содержит приемопередающей или усилительной аппаратуры, а прием и передача осуществляются исключительно антенными системами.

Различают пассивные ретрансляторы трех типов: преломляющего, отражающего и препятствия.

Ретранслятор преломляющего типа в простейшем случае представляет собой комбинацию двух остронаправленных антенн, одна из которых ориентирована на антенну передатчика, а вторая направлена в точку приема. Таким образом, производится переизлучение сигнала в нужном направлении.

Ретранслятор отражающего типа выполняется в виде одного или двух плоских антенных зеркал, которые обеспечивают изменение направления распространения сигнала. Антенны ретрансляторов преломляющего и отражающего типов должны быть выполнены с высокой точностью рабочих поверхностей при больших размерах полотен этих антенн, доходящих до сотен квадратных метров в телевизионном диапазоне частот. Кроме того, должна быть обеспечена жесткая фиксация рабочих поверхностей антенн в пространстве, что требует использования сверхжестких опор. Поэтому ретрансляторы преломляющего и отражающего типов в последнее время редко находят применение на государственных линиях связи и совершенно неприемлемы в радиолюбительских условиях для приема телевизионных передач.

Пассивный *ретранслятор типа препятствия* был предложен в 1954 г. Г. З. Айзенбергом и А. М. Моделем. Такой ретранслятор представляет собой металлическую поверхность, расположенную между передатчиком и приемником, находящимся относительно передатчика в зоне тени (рис. 5.7). В отсутствие ретранслятора антенна передатчика, установленная в точке А, практически не соз-

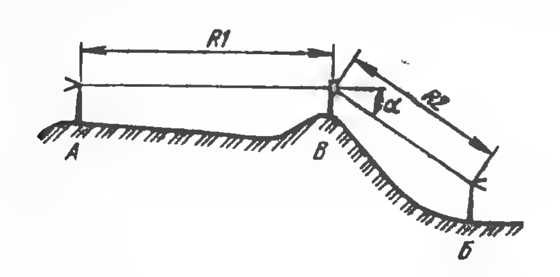


Рис. 5.7. К пояснению установки пассивного ретранслятора

дает в точке приема Б электромагнитного поля, так как точка приема затенена. При установке на пути распространения сигнала в точке В препятствия, в точке Б возникает поле. Это связано с тем, что препятствие в соответствии с принципом Гюйгенса возбуждается падающей на него волной и становится источником вторичного излучения. При соответствующем выборе формы и размеров препятствия напряженность поля в точке Б может оказаться значительной и достаточной для умеренного приема телевизионного сигнала. Роль препятствия в том, что на трассе распространения

сигнала образуется поверхность с нулевой напряженностью поля на той стороне, которая обращена к пункту приема.

Деформации рабочей поверхности ретранслятора типа препятствия, вызванные ветром, или отклонения ее из-за неточности изготовления не влияют на интенсивность излучения и на уровень напряженности поля в точке приема. Это — основное преимущество ретрансляторов типа препятствия перед ретрансляторами преломляющего и отражающего типов. Поэтому полотно ретранслятора типа препятствия может быть выполнено не в виде жесткой металлической конструкции, а в виде проволочной сетки, жесткость же конструкции рамы такой сетки определяется исключительно необходимой механической прочностью. Отпадает также необходимость выполнения юстировки рабочей поверхности ретранслятора после его установки, обязательной для ретрансляторов преломляющего и отражающего типов. Все это указывает на то, что пассивные ретрансляторы типа препятствия могут найти широкое применение для уверенного приема телевизионных передач в сложных рельефных условиях при их установке радиолюбителями.

Оптимальная форма полотна ретранслятора типа препятствия — дугообразная. Однако практически из-за того, что горизонтальные размеры полотна значительно меньше расстояния до ретранслируемого передатчика, дуга вырождается в прямую, и такие же результаты дает полотно прямоугольной формы. Полотно ретранслятора устанавливают в вертикальной плоскости, перпендикулярной линии, соединяющей точки А и Б. Установка полотна ретранслятора на опорах показана на рис. 5.8. Наибольшая высота полотна равна

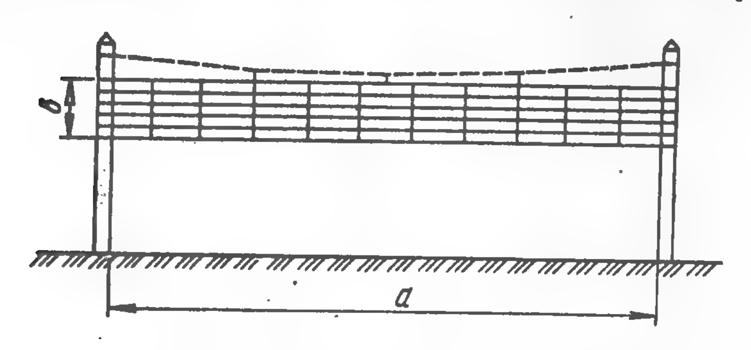


Рис. 5.8. Полотно пассивного ретранслятора

высоте зоны Френеля и может быть определена по формуле

$$b_m = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}.$$

Наибольшая ширина полотна определяется допустимой расфазировкой полей, излученных серединой и краями полотна:

$$a_m = 1.7 \sqrt{\lambda R_2}.$$

В этих формулах λ — длина волны принимаемого телевизионного

канала, α — угол между направлениями падающего на полотно поля и излученного поля на пункт приема, R_2 — наклонное расстояние между полотном ретранслятора и приемной антенной. Формулы справедливы, когда расстояние между передающей антенной и ретранслятором значительно больше расстояния между ретранслятором и приемной антенной. В противном случае вместо R_2 следует подставлять в формулу значение $R_1R_2/(R_1+R_2)$. Размеры полотна получаются в метрах, если также в метрах выражены расстояния.

При расчете размеров полотна пассивного ретранслятора следует учесть, что полученные размеры являются максимально допустимыми: увеличение этих размеров приводит к снижению эффективности ретранслятора. Фактически в диапазонах I и II метровых волн эти размеры могут оказаться реально невыполнимыми. Приведем следующий пример. Допустим, расстояние от передатчика до ретранслятора $R_1=30$ км, расстояние от ретранслятора до приемной антенны $R_2=1$ км, а угол между этими направлениями $\alpha=10°$ Тогда для первого телевизионного канала с длиной волны $\lambda=6$ м наибольшая высота полотна получится равной 17,3 м, а наибольшая ширина полотна 132 м. В таких условиях полотно может быть выполнено меньших размеров, хотя эффективность ретранслятора, которая пропорциональна площади поверхности полотна, уменьшится. Для тех же условий, если ведется прием передач по 12-му каналу с длиной волны 1,32 м, размеры полотна оказываются уже ближе к реальности: высота — 3,7 м, ширина — 61,3 м. Наконец, для 33-го канала дециметрового диапазона волн при длине волны 0,53 м размеры полотна получаются еще меньше: высота — 1,5 м, а ширина — 39,1 м..

Эффективность пассивного ретранслятора типа препятствия можно характеризовать отношением напряженности поля в точке размещения ретранслятора к напряженности поля в точке приема:

$$\frac{E_В}{E_Б}=\frac{\lambda R_2}{S_{эф}},$$

где $S_{эф}=0{,}5\,ab$ — эффективная поверхность полотна ретранслятора. Здесь коэффициент 0,5 учитывает расфазировку полей, излученных всей поверхностью ретранслятора, а также уменьшение напряженности поля в точке приема за счет просачивания части энергии поля сквозь полотно ретранслятора. Если в рассмотренном примере выполнить полотно ретранслятора максимально допустимых размеров и преобразовать формулу отношения напряженностей поля, подставив в нее выражение для эффективной поверхности полотна ретранслятора

$$\frac{E_В}{E_Б}=\frac{\sin\alpha}{0{,}425}\sqrt{\frac{R_2}{\lambda}},$$

напряженность поля в точке приема окажется в 5,3; 11,2 и 18 раз меньше напряженности поля в точке установки ретранслятора соответственно для 1, 12 и 33-го каналов.

Из преобразованной формулы видно, что при малых углах α напряженность поля в точке приема обратно пропорциональна этому углу, а ее зависимость от расстояния до ретранслятора и от длины волны слабее, поскольку их значения входят в формулу под

знаком радикала, если размеры полотна выбраны максимально допустимыми. В то же время максимальные размеры полотна зависят от длины волны, с уменьшением длины волны они также уменьшаются, особенно высота полотна, которая зависит от длины волны в первой степени. Таким образом, эффективность ретранслятора при уменьшении длины волны можно было бы увеличить, если бы можно было увеличить размеры полотна сверх максимально допустимых. Это оказывается возможно, если полотно сделать не сплошным, а состоящим из нескольких горизонтальных полос, перекрывающих зоны Френеля через одну, т. е. одного знака. В связи с тем что в дециметровых диапазонах волн максимально допустимая высота полотна оказывается небольшой, можно выполнить полотно из двух или трех полос, причем высота каждой полосы и расстояние между ними по высоте берутся равными найденному значению максимальной высоты полотна. Такие ретрансляторы называются многоэлементными.

Эффективность многоэлементного ретранслятора типа препятствия возрастает пропорционально квадрату числа полос. Таким образом, если в приведенном примере выполнить полотно ретранслятора для 33-го канала из трех полос высотой 1,5 м каждая с расстоянием между ними по высоте также 1,5 м, эффективность ретранслятора увеличится в 9 раз. При этом напряженность поля в точке приема окажется уже не в 18 раз меньше напряженности поля в точке установки ретранслятора, а всего в два раза.

На равнинной местности при большой протяженности трассы использование радиолюбительских пассивных ретрансляторов типа препятствия становится нереальным по следующим причинам. Установка ретранслятора должна производиться в такой точке трассы, где напряженность поля достаточно велика, а эта точка обычно находится за десятки километров от точки приема. С увеличением этого расстояния падает эффективность ретранслятора при равной эффективной поверхности полотна. Угол между направлениями падающего на ретранслятор поля и излученного на пункт приема уменьшается до долей градуса, что приводит к увеличению максимально допустимой высоты полотна. При этом установка многоэлементного ретранслятора даже для дециметрового диапазона становится нереальной в связи с тем, что у ретрансляторов в таких условиях высота каждой полосы и расстояний между ними по высоте оказываются недопустимо большими.

Пассивные ретрансляторы типа препятствия целесообразно устанавливать в условиях, когда точка приема закрыта в направлении на передатчик близкорасположенной высокой преградой, а на вершине этой преграды, на которой будет установлен ретранслятор, напряженность поля сигнала достаточно велика. Тогда полотно ретранслятора удается выполнить максимально допустимых размеров даже для первого телевизионного канала, а для 12-го канала ретранслятор может быть выполнен многоэлементным.

Рассмотрим теперь практическое исполнение полотна ретранслятора. Теория пассивных ретрансляторов основана на предположении, что препятствие представляет собой сплошной металлический лист. Однако на практике полотно выполняют в виде проволочной сетки. Такие сетки хорошо отражают электромагнитные волны, если поляризация падающего поля параллельна проводам сетки. Тогда при горизонтальной поляризации сигнала полотно

должно быть выполнено в виде горизонтальных проводов, а при вертикальной поляризации — вертикальных. Расстояние между проводами должно быть значительно меньше рабочей длины волны. Можно считать достаточным, если их отношение будет не менее 20. Диаметр проводов также имеет значение: чем больше диаметр проводов, тем меньше просачиваемая мощность и тем лучше работает полотно. Хорошие результаты при изготовлении полотна ретранслятора дает антенный канатик. Для обеспечения прочности провода полотна можно скрепить поперечными проводами любого диаметра, пропаяв все точки пересечений. Расстояние между поперечными проводами выбирается произвольно из соображений механической прочности. Полотно ретранслятора устанавливают на двух или нескольких опорах. Если используются промежуточные опоры, все части полотна должны находиться в одной плоскости. Прямоугольная форма полотна обеспечивается его подвеской к капроновому шнуру. Изолировать полотно от опор нет необходимости. Высота нижней кромки полотна над поверхностью земли должна быть не менее нескольких длин волны принимаемого канала.

При использовании пассивного ретранслятора приемная антенна должна быть ориентирована в направлении на его полотно не только по азимуту, но также и по углу места. Поэтому геометрическая ось антенны оказывается не горизонтальной, как обычно, а должна располагаться под соответствующим углом к горизонту.

6. СВЕРХДАЛЬНИЙ ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

6.1. ОСОБЕННОСТИ СВЕРХДАЛЬНЕГО ПРИЕМА

Как уже отмечалось, сверхдальний прием телевизионных передач наблюдается сравнительно редко, сеансы его непродолжительны и не поддаются прогнозированию. Сверхдальний прием возможен при случайно сложившихся благоприятных условиях распространения сигнала. Рассмотрим, каковы же эти условия и чем объясняется сверхдальний прием телевидения?

Как известно, основой распространения радиоволн длинноволнового и средневолнового диапазонов является земная волна, которая характеризуется тем, что энергия электромагнитного поля огибает земную поверхность за счет преломления в атмосфере. Это преломление происходит благодаря уменьшению плотности воздуха с высотой. Радиоволны коротковолнового диапазона слабо преломляются в атмосфере, но способны отражаться от верхних ионизированных ее слоев.

Долгое время считалось, что радиоволны метрового диапазона не огибают поверхность земли (не подвержены рефракции) и не отражаются ионосферой. Это, однако, оказалось не так. Степень ионизации слоев ионосферы резко возрастает в годы солнечной активности, а также и по другим причинам. Это приводит к образованию условий, способствующих отражению волн метрового диапазона. Наиболее важными в этом отношении являются слой E, расположенный на высоте 95...120 км над поверхностью земли, и слой F2, расположенный на высоте 230...400 км. Считается,

что образование слоя E связано с ионизацией молекул азота и кислорода рентгеновским и ультрафиолетовым излучением Солнца, а образование слоя F2 — ионизацией тех же газов ультрафиолетовым и корпускулярным излучениями Солнца. Слой E характеризуется большим постоянством электронной концентрации изо дня в день, которая возрастает днем и уменьшается ночью, а слой F является неустойчивым образованием. В этом слое как электронная концентрация, так и высота расположения ее максимума в разные дни колеблются в значительных пределах. Однако днем концентрация электронов в этом слое также выше, чем ночью, и, кроме того, зимой она значительно больше, чем летом. В предрассветные часы наблюдается глубокий минимум электронной концентрации слоя F2.

Время от времени в области E образуется сильно ионизированный слой, который называют «спорадическим слоем E». Интенсивность спорадического слоя E во много раз выше интенсивности нормального слоя E. Исследования показали, что спорадический слой E представляет собой скопление электронных облаков, которые имеют горизонтальную протяженность в десятки и сотни километров и движутся со скоростью до 300 км/ч. Время существования этого слоя колеблется в широких пределах, но не превышает нескольких часов. Спорадический слой E может возникать в любое время суток и года, однако в средних широтах он чаще образуется в летние дни. Предполагается, что образование спорадического слоя E связано с просачиванием заряженных частиц из вышерасположенных слоев и с потоками метеоров. Подобно тому как радиоволны длинноволнового и средневолнового диапазонов преломляются в атмосфере, радиоволны УКВ диапазона преломляются в ионосфере. Степень преломления зависит от электронной концентрации слоя и от длины радиоволны или ее частоты.

Чем больше частота волны, тем более высокая концентрация электронов требуется для того, чтобы за счет преломления и полного внутреннего отражения волна вернулась на Землю. Кроме того, доказано, что в точке отражения волны электронная концентрация обязательно должна возрастать с высотой. Отражение не может происходить в области максимума и тем более в области уменьшения электронной концентрации с высотой. Непостоянство электронной концентрации в ионизированных слоях, ее изменения в течение года и в течение суток, кратковременность и случайность спорадического слоя E приводят к тому, что условия достаточного преломления и полного внутреннего отражения, необходимые для возврата радиоволн на землю, возникают также случайно, длятся кратковременно и не прогнозируются.

Измеренные с помощью геофизических ракет электронные концентрации различных слоев в разное время объясняют, почему сверхдальний прием телевидения наблюдается только в пределах I диапазона (1-й и 2-й телевизионные каналы). Частота волн последующих диапазонов больше и требует для возврата волны на землю таких электронных концентраций, которых в слоях не бывает. Волны этих диапазонов от ионосферы не отражаются, а пронизывают ее насквозь. Сверхдальний прием телевизионных программ обусловлен появлением слоя F2 и спорадического слоя E. Однако электронная концентрация нормального слоя E недоста-

точна для отражения волн телевизионного диапазона, следовательно, и сверхдальнего приема не происходит.

Согласно законам преломления луч, падающий на преломляющую поверхность нормально (под прямым углом), не преломляется. Чем более полого падает луч на преломляющую поверхность, тем больше вероятность того, что будут достигнуты условия для полного внутреннего отражения, тем меньшая электронная концентрация для этого потребуется. Поэтому сверхдальний прием телевидения наблюдается только на больших расстояниях (около 1000 км и более) от телевизионного передатчика, а меньшие расстояния для сверхдальнего приема образуют мертвую зону.

Протяженность электронных облаков и электронная концентрация ионизированных слоев изменяются в широких пределах. Поэтому также в широких пределах изменяется напряженность поля телевизионного сигнала при появлении сверхдальнего приема. Эти пределы настолько широки, что иногда оказывается возможен сверхдальний прием с хорошим качеством изображения даже при использовании комнатных антенн, как это наблюдалось в 1957 г. Тем не менее вероятность получения устойчивого изображения при сверхдальнем приеме увеличивается при использовании высокоэффективных антенн и высокочувствительных телевизионных приемников. Из числа таких приемников можно рекомендовать телевизор для дальнего приема Н. Швырина, описание которого приводилось в журнале «Радио» № 12 за 1972 г. Этот телевизор пригоден для приема сигналов с разными стандартами разложения изображения. Однако следует учесть, что постройка такого телевизора, а особенно его налаживание и настройка доступны лишь очень опытным радиолюбителям. К тому же в журнале приводилось недостаточно подробное описание. Для опытов по сверхдальнему приему можно использовать и обычный телевизионный приемник черно-белого изображения промышленного производства, приняв меры к улучшению его чувствительности.

В качестве антенн целесообразно использовать узкополосные антенны с большим коэффициентом усиления, например, двухэтажную двухрядную синфазную решетку из трехэлементных рамочных антенн, построенную по размерам для первого канала. Установить антенну желательно на высокой мачте, а если длина фидера превысит 50 м, использовать малошумящий антенный усилитель, установив его на мачте в непосредственной близости от антенны. В связи с тем что заранее не известно, с какого направления окажется возможным осуществить сверхдальний прием при сложившихся благоприятных условиях распространения сигнала, необходимо иметь возможность быстро и оперативно ориентировать антенну. Для этого антенну устанавливают на поворотной мачте, которая может вращаться с приводом от реверсивного электродвигателя, оснащенного редуктором с большим коэффициентом передачи. Благодаря такому редуктору мощность двигателя может быть небольшой, так как момент вращения с вала двигателя увеличивается пропорционально коэффициенту передачи редуктора. Естественно, что выходные шестерни редуктора должны быть рассчитаны на большие усилия. Во избежание скручивания фидера система поворота антенной мачты должна быть оснащена концевыми выключателями питания электродвигателя, которые ограничивают поворот мачты. Эти же концевые выключатели могут быть

использованы для сигнализации о достижении предельного поворота антенны. Некоторые радиолюбители дополняют систему дистанционного поворота антенны парой сельсинов. Это дает возможность по шкале, установленной на оси сельсина-приемника, определять направление антенны в любом ее положении.

Конечно, в тех случаях, когда установка для сверхдальнего приема предназначена для приема телевизионных передач одного определенного телецентра, нет нужды антенну выполнять поворотной. В этом случае антенна ориентируется по направленню на передатчик раз и навсегда при ее установке.

6.2. РЕТРАНСЛЯЦИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПРОГРАММ ЧЕРЕЗ ИСЗ

Рассмотрим кратко вопросы, связанные со спутниковым вещанием — передачей телевизионных программ от передающих наземных станций к приемным через активный ретранслятор, размещенный на искусственном спутнике Земли (ИСЗ).

Основной принцип спутникового вещания — использование промежуточного активного ретранслятора, установленного на ИСЗ, который движется на высокой орбите длительное время без затрат энергии на это движение. Первые опыты по дальней ретрансляции телевизионных передач с помощью активных ретрансляторов, расположенных на больших высотах над поверхностью Земли, были осуществлены в СССР в 1957 г. Еще в начале 1937 г. П. В. Шмаковым было технически обосновано предложение установки активных телевизионных ретрансляторов на самолетах, однако в то время это предложение не было актуальным. В 1957 г. после выполнения большой научно-экспериментальной работы была осуществлена такая ретрансляция телевизионных передач с VI Всемирного фестиваля молодежи и студентов из Москвы в Смоленск, Киев и Минск. При ретрансляции использовались самолеты типа ЛИ-2 при высоте полета около 4000 м. В дальнейшем, в связи с большими успехами в освоении космического пространства, появилась возможность установки активных ретрансляторов на ИСЗ.

Для спутниковой ретрансляции телевизионных передач в основном используют *спутники* двух видов: *обращающиеся на вытянутых эллиптических орбитах и обращающиеся, на геостационарных орбитах.*

Применение ИСЗ для телевизионного вещания в СССР началось запуском первого спутника связи типа «Молния-1» 23 апреля 1965 г. Впоследствии было запущено еще несколько ИСЗ типа «Молния». Эти спутники обращаются на вытянутых эллиптических орбитах с высотой перигея 500 км и апогея 40 тыс. км. Плоскость орбиты этих спутников наклонена относительно плоскости земного экватора на 63,4°. Согласно второму закону Кеплера движение ИСЗ на большой высоте, в области апогея, происходит медленно. В это время спутник находится над северным полушарием Земли. На малой высоте, в области перигея, когда спутник находится над южным полушарием, он движется очень быстро. Период обращения спутников «Молния» составляет 12 ч. Обслуживание всей территории СССР одним ИСЗ этого типа возможно в течение 8 часов в сутки. Поэтому использование трех ИСЗ позволило обеспечить

круглосуточную ретрансляцию. Бортовой передатчик ретранслятора, установленного на ИСЗ «Молния», работает на частоте 3875 МГц с выходной мощностью 40 Вт при частотной модуляции несущей частоты. Питание аппаратуры ИСЗ осуществляется от солнечных батарей. Ретрансляция с использованием ИСЗ «Молния» производится по системе «Орбита». Земные приемные станции этой системы — сложные и дорогостоящие сооружения, состоящие из здания с параболической антенной диаметром 12 м. Антенна установлена на полноповоротном опорном устройстве. В связи с непрерывным движением спутника относительно земной станции антенна станции должна постоянно перемещаться, обеспечивая ориентирование на ИСЗ. Для этого антенна снабжена устройством программного и ручного наведения, а также комплексом автоматического наведения по максимуму принимаемого сигнала.

Приемное устройство земной станции «Орбита» для улучшения чувствительности содержит малошумящие охлаждаемые параметрические усилители, блоки усиления и преобразования сигналов изображения с частотной модуляции в амплитудную, блоки регенерации синхросигнала, системы подавления помех и искажений. Кроме того, имеется аппаратура для приема с ИСЗ сигналов звукового радиовещания и изображения газетных полос. Наконец, все блоки устройства обеспечены двойным резервированием с системами автоматического контроля и переключения на резерв.

Выходные сигналы телевизионной программы с земной станции «Орбита» передаются к местному телевизионному передатчику, который обеспечивает трансляцию принятой программы для ее приема бытовыми телевизионными приемниками обычного типа с помощью также обычных индивидуальных или коллективных антенн.

Использование сложных и дорогостоящих земных станций «Орбита» в то время было целесообразно для доставки телевизионных программ в крупные населенные пункты. Строительство же таких станций в населенных пунктах с населением в несколько тысяч человек экономически нецелесообразно. В подобных условиях необходимы более простые и дешевые земные станции. Для достижения этой цели необходима повышенная мощность передатчика спутникового ретранслятора, что позволяет упростить приемное устройство земной станции, и использование ИСЗ, находящегося на геостационарной орбите, что исключает необходимость непрерывного наведения приемной антенны на ИСЗ.

Еще в 1945 г. английский инженер А. Кларк, известный впоследствии как писатель-фантаст, предложил использовать для спутников связи геостационарную орбиту с периодом обращения 24 ч, которая имеет форму окружности, лежащей в плоскости земного экватора с высотой над поверхностью земли 35 875 км. Направление вращения ИСЗ совпадает с направлением суточного вращения земли. Поэтому для земного наблюдателя спутник кажется стоящим неподвижно в определенной точке небесной полусферы. Благодаря этому значительно упрощаются земные приемные установки. Отпадает необходимость в сложной системе постоянного наведения антенны земной станции на спутник с устройством автоматического сопровождения. Благодаря неизменности расстояния до спутника значительно выше оказывается стабильность уровня входного сигнала. Отсутствует изменение частоты входного сигнала за счет эффекта Доплера. Связь через геостационарный спутник может

осуществляться круглосуточно без перерывов, необходимых для перехода с одного ИСЗ на другой. Эти достоинства обусловили прекращение дальнейших запусков спутников типа «Молния» и строительство земных станций системы «Орбита». Международным комитетом регистрации частот к 1985 г было зарегистрировано 128 систем связи через геостационарные спутники, а к 1992 г. для целей связи на геостационарные орбиты выведено еще около 200 ИСЗ. Однако использование геостационарных спутников связано и с некоторыми трудностями. Этими спутниками плохо обслуживаются приполярные области, а для выведения их на геостационарную орбиту требуется расположение космодрома на экваторе либо значительно бо́льшая мощность ракеты-носителя. Тем не менее эти недостатки окупаются простотой и дешевизной большого числа земных станций.

На основе геостационарных ИСЗ «Экран» и «Горизонт» в нашей стране созданы системы спутниковой телевизионной ретрансляции «Экран-М» и «Москва». Спутник «Экран» размещен на орбите с координатой 99° восточной долготы и оборудован двумя передатчиками, работающими на частотах 714 и 754 МГц дециметрового диапазона. Мощность передатчика достигает 200 Вт. Сигналы изображения передаются при частотной модуляции несущей с эллиптической поляризацией. Звуковое сопровождение телевизионной передачи ведется на поднесущей частоте 6,5 МГц, которая равна разносу несущих изображения и звукового сопровождения при наземном телевизионном вещании. Все это позволило существенно упростить земные телевизионные установки Серийно выпускается два класса приемных установок. Приемные устройства I класса повышенного качества и надежности предназначены для доставки программ телевидения к телевизионным передатчикам большой и средней мощности (местные телецентры и мощные наземные ретрасляторы). Приемные устройства II класса представляют собой упрощенные приемники частотно-модулированных колебаний и предназначены для преобразования принятых сигналов в стандартный телевизионный сигнал с амплитудной модуляцией несущей изображения и частотной модуляцией несущей звукового сопровождения. Эти устройства рассчитаны на доставку программы либо непосредственно к бытовым телевизорам по кабельной сети (в этом случае устройство является установкой коллективного телевизионного приема), либо к местным наземным ретрансляторам малой мощности.

Выпускается несколько вариантов приемных устройств II класса: станция коллективного приема программ телевидения «Экран-КР-10», станция коллективного приема «Экран-КР-1», станция спутникового телевидения «Экран» и абонентский приемник «Экран». Станция «Экран-КР-10» предназначена для обслуживания цветным телевизионным вещанием крупных поселков путем формирования стандартного телевизионного сигнала мощностью 10 Вт на частоте одного из метровых каналов с излучением сигнала в эфир для приема бытовыми телевизорами с обычными антеннами. Станция «Экран-КР-1» предназначена для обслуживания небольших населенных пунктов и отличается от станции «Экран-КР-10» выходной мощностью передатчика, которая составляет 1 Вт. Радиус действия станции «Экран-КР-10» — 6...7 км, а станции «Экран-КР-1» — 2...2,5 км. Станция спутникового телевидения «Экран» предназна-

чена для обслуживания небольших коллективов телезрителей (метеостанций, геоэкспедиций и т. д.) и формирует стандартный телевизионный сигнал по первому или четвертому каналу уровнем напряжения 1 В для подачи через кабельную распределительную сеть на антенные входы бытовых телевизоров числом до восьми. Абонентский приемник «Экран» предназначен для подключения к бытовому телевизору и формирует стандартный телевизионный сигнал на одном из метровых каналов уровнем напряжения 40 мВ. Этот приемник содержит малошумящий дециметровый усилитель высокой частоты, преобразователь на промежуточную частоту 70 МГц, усилитель промежуточной частоты, амплитудный ограничитель, частотный детектор, с выхода которого снимаются сигнал изображения и поднесущая звукового сопровождения. Они поступают в блок амплитудного модулятора. Здесь сигналы разделяются и преобразуются в стандартный телевизионный сигнал, производится восстановление постоянной составляющей, коррекция предыскажений сигнала изображения, подавляется одна из боковых полос амплитудно-модулированного сигнала изображения. Габаритные размеры абонентского приемника 440×240×165 мм, масса 5 кг, питание от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

В связи с часто возникающими вопросами следует заметить, что абонентские приемники «Экран» пока в розничную продажу не поступают, а распределяются по фондам через главные управления снабжения различных министерств и ведомств.

Некоторые радиолюбители, имеющие в своем распоряжении бытовые телевизионные приемники, оснащенные дециметровым селектором каналов, пытаются осуществить непосредственный прием телевизионных передач от бортового ретранслятора ИСЗ «Экран», полагая, что для этого достаточно установить эффективную антенну и направить ее в точку небесной полусферы, соответствующую положению ИСЗ. При этом они упускают из виду, что чувствительность бытового телевизионного приемника недостаточна, что сигнал изображения передается со спутникового ретранслятора при частотной модуляции, а также другие особенности сигнала. Хотя, в принципе, создание радиолюбительской конструкции приемника, аналогичного абонентскому приемнику «Экран», и возможно, однако эта задача достаточно сложна и может оказаться по плечу только наиболее квалифицированному радиолюбителю, имеющему опыт постройки и налаживания соответствующей аппаратуры, при наличии у него необходимого комплекса измерительных приборов. До настоящего времени описаний и схем радиолюбительской аппаратуры подобного назначения в литературе не появлялось.

В системе спутниковой связи «Москва» задействовано пять ИСЗ типа «Горизонт», размещенных на геостационарной орбите с координатами 14° западной долготы, 53°, 80°, 90° и 140° восточной долготы, которые обеспечивают ретрансляцию программ телевидения из Останкино в различные регионы страны с временным сдвигом от двух до восьми часов. Передатчики этих ретрансляторов работают на частоте 3675 МГц при выходной мощности 40 Вт, звуковое сопровождение передается на поднесущей 7 МГц. Создана также система «Москва-Глобальная» для ретрансляции программ телевидения на страны Европы, Азии, Африки и Америки.

6.3. НЕПОСРЕДСТВЕННЫЙ ПРИЕМ ЧЕРЕЗ ИСЗ

Для непосредственного приема населением телевизионных программ, транслируемых через ИСЗ, необходимо, чтобы излучаемый спутниковым ретранслятором сигнал полностью соответствовал параметрам сигнала, на который рассчитаны бытовые телевизоры, т. е. диапазонам волн, способу модуляции сигналов изображения и звукового сопровождения, структуре гасящих и синхронизирующих импульсов и другим параметрам. Однако в метровом и дециметровом диапазонах, на которых работают бытовые телевизионные приемники, осуществить передачу со спутника пока оказывается невозможно, так как для этого спутник должен быть оснащен антеннами слишком больших размеров, а мощность источников питания бортового ретранслятора должна значительно превышать достижимую. Поэтому понятие непосредственного приема телевизионного вещания (НТВ) в настоящее время принято условно, а бытовой телевизор помимо установки специальной антенны должен быть оснащен дополнительным приемным и преобразующим принятый сигнал устройством.

Исходя из принятого в настоящее время понятия НТВ, к системе НТВ может быть отнесена система «Экран-М», которая позволяет с помощью высокоэффективной дециметровой антенны и абонентского приемника «Экран» принимать сигналы через ИСЗ. Однако система «Экран-М» — однопрограммная, так как в дециметровом диапазоне уже нет свободных каналов, которые широко используются в мире для наземного телевизионного вещания. Увеличение транслируемых программ системой «Москва» также невозможно, так как весь частотный диапазон 3,6 ... 4,2 ГГц, в котором работают спутники «Горизонт», занят спутниковыми системами телевидения и служебной связи других государств. По этим причинам для НТВ выбран диапазон частот 11,7 ... 12,5 ГГц со средней длиной волны 2,5 см. Ширина этого диапазона составляет 800 МГц и в нем может свободно разместиться большое число телевизионных каналов. Преимущество этого диапазона и в том, что благодаря достаточно малой длине волны приемные земные антенны при сравнительно малых габаритах обладают большим коэффициентом усиления. В табл. 6.1 приводится зависимость коэффициента усиления параболической антенны, выраженного в децибелах ($К_{дБ}$), и коэффициента усиления той же антенны по напряжению (К) от диаметра параболоида.

Таблица 6.1

Зависимость коэффициента усиления антенны от диаметра

Д, м	0,6	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5
$К_{дБ}$	35,3	37,3	39,8	43,3	45,8	47,7
К	58,4	73,0	97,3	146,0	194,7	243,3

Японской фирмой «Мацусита» разработана для указанного диапазона плоская приемная антенна в форме квадрата со стороной

40 см, которая по коэффициенту усиления (32 дБ) не уступает параболическим антеннам диаметром 45 см, значительно технологичнее в изготовлении и проще в установке.

Разными странами мира в настоящее время используется уже большое число геостационарных спутников с телевизионными ретрансляторами этого диапазона, которые предназначены для НТВ. Наиболее известен ИСЗ «Астра», созданный в конце 1988 г. и запущенный Объединением европейских стран в точку с координатой 19,2° восточной долготы. Ретранслятор спутника «Астра» работает в диапазоне 11,20 ... 11,45 ГГц и транслирует передачи по 16 каналам: каждому каналу отведена определенная тематика. В нее входят спортивные, развлекательные, семейные, информационные передачи, передачи для женщин и детей, видеоклипы и художественные фильмы. Передачи ведутся на разных языках. На некоторых каналах звуковое сопровождение является стереофоническим. Выходная мощность передатчика составляет 45 Вт. Сигнал излучается с линейной поляризацией — горизонтальной или вертикальной для развязки между соседними каналами.

Типовая приемная установка НТВ для диапазона 11 ... 12 ГГц содержит параболическую антенну диаметром 0,6 ... 1,8 м с волноводным облучателем и поляризатором, который позволяет выбрать вид поляризации сигнала. Затем сигнал поступает на антенную головку (модуль СВЧ), которая содержит малошумящий широкополосный усилитель (МШУ), полосовой фильтр для защиты от помех по зеркальному каналу, гетеродин и смеситель, а также предварительный усилитель первой промежуточной частоты (ПУПЧ). С антенной головки сигнал первой промежуточной частоты в диапазоне частот 950 ... 1750 МГц подается по коаксиальному кабелю к тюнеру, расположенному в помещении около телевизора. Антенная головка и передача по кабелю сигнала промежуточной частоты позволяют избежать больших потерь, неизбежных при прохождении по кабелю сигнала высокой частоты. Напряжение питания антенной головки поступает с тюнера по тому же кабелю. В тюнере производится основное усиление сигнала в усилителе первой промежуточной частоты и его преобразование во вторую промежуточную частоту. После усиления следует демодуляция частотно-модулированного сигнала и формирование стандартного телевизионного сигнала, на который рассчитаны бытовые телевизоры. Выбор необходимого частотного канала производится соответствующей настройкой второго гетеродина — подачей необходимого напряжения на варикап. Тюнер содержит систему эффективной автоматической регулировки усиления для нормальной работы установки в различных условиях приема. Выходной сигнал тюнера на одном из метровых или дециметровых каналов подается на антенный вход телевизора. Может быть также предусмотрена возможность видео- и аудиовыхода для непосредственной подачи телевизионного сигнала изображения на вход «видео» телевизора, а сигнала звукового сопровождения на вход «звук».

На мировом рынке многочисленные фирмы предлагают широкий выбор приемных установок НТВ. Аналогичную приемную установку выпускает московский завод «Кросна». Она рассчитана на прием восьми цветных телевизионных программ с любого геостационарного спутника и предназначена для индивидуального или коллективного приема передачи. В состав установки входят парабо-

лическая антенна диаметром 1,5 или 2 м с антенной головкой и тюнер. Питание установки — от сети переменного тока напряжением 220 В, потребляемая мощность не превышает 20 Вт, габаритные размеры тюнера 400×250×50 мм, масса не более 3 кг. Пока в нашей стране с помощью приемных установок НТВ имеется возможность приема телевизионных передач с зарубежных спутниковых ретрансляторов. Однако ведется разработка отечественной спутниковой системы телевизионного вещания в диапазоне 12 ГГц, которая сможет обеспечить прием телевизионных программ на обширной территории. Ввод этой системы в эксплуатацию намечается в 1992 г. В связи с тем что в мире идет интенсивная разработка систем телевидения высокой четкости, весьма вероятно, что в ближайшие годы системы НТВ будут переориентированы на трансляцию именно такого телевидения.

Хотя в настоящее время цены приемных установок НТВ достаточно высоки, с расширением их выпуска они неизбежно будут падать.

7. АНТЕННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

7.1. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ПРИЕМНИКА

Чувствительность телевизионного приемника — одна из главных его характеристик, которая определяет возможность дальнего приема передач. Чем меньше чувствительность, тем «дальнобойнее» приемник. Поэтому применительно к чувствительности обычно пользуются выражениями лучше-хуже вместо больше-меньше, понимая под лучшей чувствительностью такую, которая выражается ее меньшим значением. Существует несколько определений чувствительности, и во избежание путаницы всегда необходимо знать, о какой чувствительности идет речь. Приняты следующие ее определения: чувствительность, ограниченная усилением; чувствительность, ограниченная синхронизацией; чувствительность, ограниченная шумами.

Чувствительность, ограниченная усилением, представляет собой минимальное напряжение сигнала на антенном входе телевизионного приемника, при котором обеспечивается номинальный уровень сигнала на модулирующем электроде кинескопа. Номинальным уровнем принят размах напряжения, соответствующий уровням белого и черного на экране кинескопа.

Чувствительность, ограниченная синхронизацией, — это минимальное напряжение сигнала на антенном входе телевизора, при котором еще достигается устойчивая синхронизация генераторов развертки телевизора.

Чувствительность, ограниченная шумами, — это минимальное напряжение сигнала на антенном входе телевизора, при котором обеспечивается номинальный уровень сигнала на модулирующем электроде кинескопа при его превышении над уровнем собственных шумов на 20 дБ, т. е. в 10 раз по напряжению. Во всех случаях имеется в виду чувствительность телевизионного приемника по каналу изображения.

Видно, что чувствительность, ограниченная усилением, характеризует лишь коэффициент усиления приемно-усилительного тракта телевизора без учета качества изображения и устойчивости синхронизации. Эту чувствительность можно получить, разделив напряжение номинального уровня сигнала на модуляторе кинескопа на коэффициент усиления тракта. Поэтому чем больше коэффициент усиления, тем меньше (т. е. лучше) чувствительность, ограниченная усилением. В связи с тем что коэффициент усиления тракта можно увеличивать неограниченно наращиванием числа усилительных каскадов, можно добиться чувствительности, ограниченной усилением, сколь угодно малой. Это приводит к наиболее распространенному заблуждению, когда в условиях дальнего приема пытаются его улучшить за счет использования различных усилительных приставок к телевизору. Но дело в том, что чувствительность, ограниченная усилением, отнюдь не характеризует возможность приема телевизионным приемником слабых сигналов, так как не учитывает влияния его собственных шумов. Ведь элементы схемы любого каскада, особенно электронные лампы и транзисторы, создают определенный уровень собственных шумов. Шум каждого каскада усиливается последующими каскадами наравне с сигналом, поэтому наиболее сильно усиливается шум первого каскада приемника. Вот почему наиболее важен уровень шумов именно первого каскада телевизионного приемника, а шумами последующих каскадов можно пренебречь. По этой причине именно первый каскад стремятся собирать с использованием малошумящих электронных ламп и транзисторов. Если напряжение собственных шумов на выходе приемника разделить на его коэффициент усиления, получится уровень напряжения шумов, приведенных ко входу этого приемника. В связи с тем что в основном шумит первый каскад, очевидно, что напряжение шумов, приведенное ко входу приемника, не зависит от числа каскадов и коэффициента усиления приемного тракта. Конечно, чем больше коэффициент усиления тракта, тем меньший уровень сигнала нужно подать на вход приемника, чтобы получить на его выходе нужное напряжение. Однако должно быть ясно, что при подаче на вход приемника сигнала, уровень которого меньше напряжения шумов, приведенных ко входу, такой слабый сигнал окажется забит шумами. Шумы будут усилены вместе с сигналом, и на экране телевизора вместо передаваемого изображения появятся шумы в виде хаотически мерцающих белых и черных точек. В таком случае говорят, что на экране виден «снег»

Чтобы получить изображение на экране телевизора, напряжение сигнала на входе телевизора должно превышать напряжение шумов, приведенных ко входу. Чем больше напряжение сигнала на входе телевизора по сравнению с напряжением шумов, приведенных ко входу, тем лучше будет качество изображения. Для оценки соотношения между напряжением сигнала и напряжением шумов принято брать их отношение.

Чувствительность, ограниченная шумами, как раз и учитывает наличие определенного уровня собственных шумов телевизионного приемника и характеризует его способность принимать слабые сигналы, т. е. работать в условиях дальнего приема. Чувствительность, ограниченная шумами, измеряется при отношении сигнал-шум на модуляторе кинескопа, равном 10, что соответствует 20 дБ. Напомним, что отношение двух напряжений, выраженное в децибелах,

получается путем взятия десятичного логарифма этого отношения и умножением его на число 20. В связи с тем что в телевидении кроме несущей частоты сигнала изображения передается только одна боковая полоса частот, а вторая боковая полоса подавляется, коэффициент передачи амплитудного детектора и, стало быть, коэффициент усиления сквозного тракта для сигнала в 2 раза меньше, чем для шумов. По этой причине для получения на выходе телевизионного приемника отношения сигнал-шум, равного 10, это отношение на входе приемника должно быть вдвое больше, т. е. 20, что соответствует 26 дБ.

Указанное отношение сигнал-шум при определении чувствительности условное, так как оно соответствует очень плохому качеству изображения, при котором обеспечивается различимость лишь крупных деталей. Для получения же на экране телевизора изображения хорошего качества отношение сигнал-шум на входе должно быть не менее 40 дБ, т. е. на 14 дБ (в 5 раз) больше, чем при определении чувствительности, ограниченной шумами. Это связано с тем, что максимальный уровень сигнала при негативной модуляции соответствует уровню черного, а уровень белого значительно меньше, и для получения хорошего качества изображения именно уровень белого должен быть больше уровня шумов. Поэтому, если, например, известно, что чувствительность, ограниченная шумами, для какого-то телевизора составляет 70 мкВ, подача на антенный вход этого телевизора сигнала с таким уровнем обеспечит лишь получение различимого изображения, а для получения изображения хорошего качества напряжение входного сигнала должно быть в 5 раз больше, т. е. 350 мкВ.

Сравнивая чувствительности, ограниченные шумами, для разных типов телевизора оказывается возможным выбрать такой из них, который обладает наилучшей чувствительностью и наиболее подходит для условий дальнего приема передач. Сравнение чувствительностей, ограниченных усилением, такой возможности не дает. Все разработанные после 1979 г. отечественные черно-белые и цветные телевизионные приемники в соответствии с ГОСТом должны обладать чувствительностью канала изображения, ограниченной шумами, не хуже 100 мкВ в диапазонах метровых каналов и не хуже 140 мкВ в диапазонах дециметровых каналов. Однако указанные значения предельные: фактическая чувствительность разных типов телевизоров может быть лучше

Телевизионный сигнал, принятый антенной, как и всякий радиосигнал, подвержен замираниям (колебаниям уровня) из-за непостоянства условий распространения сигнала в атмосфере. Для компенсации таких замираний коэффициент усиления приемного тракта телевизора должен автоматически изменяться в соответствии с уровнем принятого сигнала. С этой целью телевизионный приемник должен быть оснащен автоматической регулировкой усиления (АРУ). Для нормальной работы телевизора, оснащенного системой АРУ, телевизионный приемник должен иметь запас усиления. Поэтому коэффициент усиления приемно-усилительного тракта должен быть больше того, который необходим для получения необходимой чувствительности, ограниченной шумами. Таким образом, обычно чувствительность, ограниченная усилением, оказывается меньше (лучше) чувствительности, ограниченной шумами.

Чувствительность, ограниченная синхронизацией, которая ха-

рактеризуется минимальным напряжением сигнала на входе телевизора, обеспечивающим синхронизацию генераторов развертки, не учитывает необходимости наличия различимого изображения на экране телевизора или его качества. Как правило, чувствительность, ограниченная синхронизацией, представляет собой промежуточную величину: она хуже чувствительности, ограниченной усилением, и лучше чувствительности, ограниченной шумами.

Следует иметь в виду, что если не оговорено, о какой чувствительности идет речь, подразумевается чувствительность, ограниченная усилением.

У нас в стране во избежание конкуренции сложилась практика, при которой в паспортах телевизионных приемников, выпускаемых разными заводами, стали указывать чувствительность без пояснения условий ее определения. Понятно, что при этом указывалась чувствительность, ограниченная усилением, хотя потребность заинтересован в информации о чувствительности, ограниченной шумами. В последние годы под давлением общественности паспортные данные телевизоров стали содержать значения чувствительности, ограниченной синхронизацией.

Путаница в понятиях чувствительности часто приводит к парадоксам. У некоторых владельцев телевизоров вызывает недоумение то, что телевизор, характеризуемый в паспорте лучшей чувствительностью по сравнению с другим, фактически слабые сигналы принимает хуже. Это объясняется именно тем, что сравнивались значения чувствительности, ограниченной усилением, а не чувствительности, ограниченной шумами.

В условиях дальнего приема, когда изображение на экране телевизора получается бледным и малоконтрастным, встает вопрос о возможности улучшения чувствительности телевизионного приемника. При наличии современного телевизора улучшать чувствительность, ограниченную усилением, не имеет смысла, так как она и так достаточно мала. Если же речь идет о телевизорах устаревших марок, выпущенных до появления унифицированных моделей, такое улучшение можно считать целесообразным. Для этого достаточно увеличить коэффициент усиления приемно-усилительного тракта телевизора.

Возникает вопрос, в каких случаях следует добиваться улучшения чувствительности, ограниченной усилением, в условиях дальнего приема, а в каких это не имеет смысла. Рассмотрим следующие примеры.

Допустим, что имеется телевизионный приемник с чувствительностью, ограниченной усилением, равной 200 мкВ. Уровень входных шумов для всех телевизоров можно считать равным 5 мкВ. При подаче на вход этого телевизора сигнала напряжением 200 мкВ, равного чувствительности, на модуляторе кинескопа будет получено необходимое напряжение. Вместе с тем отношение сигнал-шум на входе составит 200 : 5=40. Это практически соответствует отсутствию шумов на экране. Различимое изображение, пусть даже плохого качества, что допустимо в условиях дальнего приема, можно было бы получить при меньшем уровне входного сигнала, равном 100 мкВ, при котором отношение сигнал-шум оказалось бы равным 20. Однако при уменьшении входного сигнала вдвое также вдвое уменьшится сигнал на модуляторе кинескопа, и картинка получится бледной. Если же увеличить коэффициент усиления тра-

кта также в 2 раза, задача будет решена: при подаче на антенный вход сигнала напряжением 100 мкВ уровень выходного сигнала окажется номинальным, достаточным для получения нормальной контрастности, а отношение сигнал-шум на входе будет равно 20, так как уровень входных шумов не зависит от коэффициента усиления тракта.

В качестве другого примера возьмем телевизионный приемник более позднего выпуска, например, черно-белый унифицированный телевизор УЛПТ-61-II, чувствительность которого, ограниченная усилением, 50 мкВ. При уровне сигнала 50 мкВ и уровне входных шумов 5 мкВ отношение сигнал-шум на входе равно 10, т. е. меньше допустимого. Для получения различимого изображения придется увеличить уровень входного сигнала до 100 мкВ, но при этом напряжение сигнала на модуляторе кинескопа окажется вдвое больше номинального и контрастность изображения окажется чрезмерной. Поэтому с помощью регулятора контрастности телевизора придется также вдвое уменьшить коэффициент усиления приемно-усилительного тракта. В результате будет получено номинальное напряжение сигнала на модуляторе кинескопа и отношение сигнал-шум на входе, равное 20. Отсюда ясно, что в этом примере увеличивать каким-либо способом коэффициент усиления нет смысла, так как одновременно пришлось бы регулятором контрастности во столько же раз его уменьшить. Таким образом, можно сделать следующий вывод: если чувствительность телевизора, ограниченная усилением, хуже 100 мкВ, можно ее улучшить за счет увеличения коэффициента усиления тракта. Дополнительное усиление определяется делением паспортной чувствительности, ограниченной усилением, на 100 мкВ. Естественно, что этот вывод справедлив только в тех случаях, когда уровень собственных шумов телевизионного приемника, приведенных ко входу, составляет 5 мкВ. При этом предельно достижимая чувствительность, ограниченная шумами, равна чувствительности, ограниченной усилением, и составляет 100 мкВ.

Возможность улучшения дальнего приема за счет улучшения чувствительности, ограниченной усилением, путем увеличения коэффициента усиления тракта легко установить также экспериментально по изображению на экране телевизора: если изображение просматривается на фоне шумов (на экране виден «снег»), значит, коэффициент усиления достаточно велик и его увеличение не даст улучшения приема, если же изображение бледно и малоконтрастно даже в крайнем положении регулятора контрастности, а шумы на экране не просматриваются, можно улучшить прием за счет улучшения чувствительности, ограниченной усилением, т. е. за счет увеличения коэффициента усиления тракта.

Увеличение коэффициента усиления приемного тракта может быть достигнуто разными способами. Простейший из них — использование антенного усилителя между выходом фидера и антенным гнездом телевизора. Такие усилители выпускают у нас в стране, и они имеются в продаже. Следует, однако, помнить, что уровень собственных шумов таких антенных усилителей примерно такой же, как у телевизионных приемников. Поэтому выигрыша в чувствительности, ограниченной шумами, использование этих антенных усилителей не даст. Можно было бы улучшить чувствительность только в том случае, если бы антенный усилитель обладал уровнем

собственных шумов, меньшим уровня собственных шумов телевизора за счет использования в его схеме малошумящего транзистора. Но при этом трудно получить выигрыш больше, чем на 1—2 дБ, т. е. в 1,12...1,26 раз по напряжению. Таким образом, этим путем можно улучшить чувствительность, ограниченную шумами, до 90...80 мкВ.

В ламповых телевизорах можно увеличить коэффициент усиления усилителя промежуточной частоты канала изображения за счет установки ламп с повышенным значением крутизны характеристики анодного тока. Так, вместо ламп 6Ж1П можно установить лампы 6Ж38П. Такая замена очень удобна, так как эти лампы имеют одинаковую цоколевку, и не требует каких-либо переделок в схеме. Замена ламп 6Ж1П в трехкаскадном усилителе промежуточной частоты лампами 6Ж38П увеличивает коэффициент усиления примерно в 2 раза. Возможна также установка более эффективных ламп, скажем, ламп 6Ж9П, но это требует замены ламповой панельки, и придется заново подобрать режим питания лампы.

Коэффициент усиления приемного тракта ламповых телевизоров, оснащенных блоком ПТК, можно увеличить за счет установки приставки дополнительного усиления по промежуточной частоте между выходом блока ПТК и входом первого каскада усилителя промежуточной частоты. Для этого используется имеющийся разъём и не требуется выполнять монтажные работы. Такие приставки типа «Каскад» выпускались и подробно описаны в журнале «Радио», 1966 г., № 7, с. 28—29.

Если телевизионный приемник имеет достаточный запас усиления (чувствительность, ограниченная усилением, не превышает 50 мкВ), для улучшения изображения в условиях дальнего приема полезный эффект может дать только снижение уровня шумов, приведенных ко входу. Уменьшить уровень шумов черно-белого телевизора можно только за счет некоторого ухудшения качества изображения, что в условиях дальнего приема вполне допустимо. Для этого необходимо сузить полосу пропускания приемного тракта. Сужение полосы пропускания в 2 раза приводит к ухудшению четкости по горизонтали примерно до 250 элементов, что соответствует удовлетворительному качеству картинки, и к уменьшению уровня шумов на 3 дБ. Соответственно на 3 дБ или в 1,41 раз по напряжению улучшается чувствительность, ограниченная шумами. Сужение полосы пропускания достигается путем увеличения сопротивлений нагрузки видеодетектора и видеоусилителя в 1,5...2 раза. Можно ли улучшить чувствительность до 1...3 мкВ? Применив новейшие лампы или транзисторы, можно снизить уровень шумов до 3 мкВ и, сузив полосу пропускания в 4 раза, еще вдвое, до 1,5 мкВ. Тогда чувствительность, ограниченная шумами, составит 30 мкВ, но четкость ухудшится до 137 элементов, что соответствует уже плохо различимому изображению. Это — предел!

7.2. ПРИМЕНЕНИЕ АНТЕННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Выше уже отмечалось, что установка антенного усилителя около телевизора между фидером и антенным входом телевизионного приемника обеспечивает увеличение коэффициента усиления

приемного тракта, т. е. улучшает чувствительность, ограниченную усилением. Было также показано, что при использовании современных телевизоров такой метод не приводит к улучшению изображения в условиях дальнего приема, так как требуется улучшение чувствительности, ограниченной не усилением, а шумами. Антенный же усилитель, обладая примерно таким же уровнем собственных шумов, как и телевизионный приемник, не улучшает чувствительности, ограниченной шумами.

Тем не менее использование антенного усилителя в некоторых случаях позволяет улучшить прием, но для этого он должен быть установлен не около телевизора, а около антенны, на мачте между антенной и фидером или вразрыв фидера, в непосредственной близости от антенны. В чем тут разница? Дело в том, что сигнал, проходя по фидеру, претерпевает затухание, уменьшается его уровень. Затухание зависит от марки кабеля, из которого выполнен фидер. Кроме того, затухание тем больше, чем больше длина фидера и чем больше частота сигнала, т. е. номер канала, по которому принимается передача. Когда антенный усилитель установлен около телевизора, на его вход поступает сигнал, уже ослабленный прохождением по фидеру, и отношение уровня сигнала к уровню шумов на входе антенного усилителя оказывается меньше, чем если бы антенный усилитель был установлен около антенны, когда сигнал не ослаблен фидером. При этом, конечно, проходя по фидеру, сигнал также ослабляется, но во столько же раз ослабляются и шумы. В результате отношение уровня сигнала к уровню шумов не ухудшается.

Телевизионные кабели разных марок характеризуются зависимостью удельного затухания от частоты. Удельным затуханием коаксиального кабеля принято называть такое, которое претерпевает сигнал определенной частоты, проходя по кабелю длиной 1 м. Удельное затухание измеряется в дБ/м и приводится в справочниках в виде графических зависимостей удельного затухания от частоты или в виде таблиц. На рис. 2.1 приводятся такие кривые для некоторых марок коаксиального 75-омного кабеля. Пользуясь ими, можно подсчитать затухание сигнала в кабеле при определенной его длине на любом частотном канале метрового или дециметрового диапазона. Для этого нужно умножить полученное из рисунка значение удельного затухания на длину фидера, выраженную в метрах. В результате получится затухание сигнала в децибелах.

Наиболее распространенный тип кабеля для фидера — РК 75—4—11, удельное затухание его 0,05... 0,8 дБ/м в диапазоне 1—5-го каналов, 0,12... 0,15 дБ/м в диапазоне 6—12-го каналов и 0,25... 0,37 дБ/м в диапазоне 21—60-го каналов. Отсюда, при длине фидера 20 м затухание сигнала в фидере на 12-м канале составит всего 3 дБ, что соответствует уменьшению напряжения сигнала в 1,41 раза, а при длине фидера 50 м затухание на 12-м канале составит 7,5 дБ (уменьшение в 2,38 раз). В дециметровом же диапазоне при длине фидера 20 м затухание окажется равным 5,0... 7,4 дБ в зависимости от номера канала, что соответствует уменьшению напряжения сигнала в 1,78... 2,34 раза, а при длине фидера 50 м — 12,5... 18,5 дБ (уменьшение сигнала в 4,22... 8,41 раза).

Таким образом, при длине фидера 50 м даже на 12-м канале сигнал, проходя по фидеру, уменьшается более чем вдвое, и отно-

шение сигнал-шум на входе телевизора окажется уменьшенным также более чем вдвое. Если установить антенный усилитель до поступления сигнала в фидер, при этом же уровне входных шумов антенного усилителя, что и у телевизора, получится выигрыш в отношении сигнал-шум более чем вдвое. Еще более существенный выигрыш получится при бо́льшей длине фидера или при приеме сигнала в дециметровом диапазоне. Необходимый и вполне достаточный коэффициент усиления антенного усилителя должен быть равен затуханию сигнала в фидере. Использовать антенные усилители с коэффициентом усиления больше требуемого нет смысла.

Выпускается несколько типов антенных усилителей. Наибольшее распространение получили антенные усилители метрового диапазона типа УТДИ—I—III (усилитель телевизионный диапазонный индивидуальный на частоты I—III диапазонов). Они рассчитаны на все 12 каналов метрового диапазона и содержат встроенный блок питания от сети переменного тока напряжением 220 В. Конструкция усилителя позволяет устанавливать его на мачте около антенны с питанием по фидеру без прокладки дополнительных проводов. Коэффициент усиления усилителя УТДИ—I—III не менее 12 дБ (4 раза по напряжению), а уровень его собственных шумов немного меньше уровня собственных шумов черно-белых и цветных телевизионных приемников.

Если усилители УТДИ—I—III диапазонные и рассчитаны на усиление телевизионного сигнала по любому из 12 каналов метрового диапазона, то антенные усилители типа УТКТИ (усилитель телевизионный канальный транзисторный индивидуальный) одноканальные и рассчитаны на усиление сигнала только одного, вполне определенного частотного канала метрового диапазона. Номер канала указывается после обозначения типа усилителя. Так, УТКТИ—1 означает, что усилитель рассчитан на усиление сигнала по первому частотному каналу, а УТКТИ—8 — на усиление сигнала по восьмому каналу. Усилители типа УТКТИ также имеют встроенный блок питания от сети переменного тока напряжением 220 В. Коэффициент усиления УТКТИ—1 — УТКТИ—5 не менее 15 дБ, а УТКТИ—6 — УТКТИ—12 не менее 12 дБ. Уровень собственных шумов усилителей этого типа несколько меньше чем типа УТДИ—I—III. Мощность, потребляемая от сети переменного тока УТДИ—I—III, не превышает 7 Вт, а УТКТИ — 4 Вт.

В связи с тем, что в настоящее время все более широкое распространение получает телевизионное вещание в дециметровом диапазоне, а затухание сигнала в фидере на этом диапазоне повышено, актуальным становится использование антенных усилителей, рассчитанных на этот диапазон. Например, усилители типа УТАИ—21—41 (усилитель телевизионный антенный индивидуальный, рассчитанный на 21—41 каналы) с коэффициентом усиления не менее 14 дБ в диапазоне частот 470...638 МГц.

Ранее, несмотря на выпуск промышленных антенных усилителей, в журналах «Радио» и в сборниках «В помощь радиолюбителю» приводилось большое количество описаний и схем антенных усилителей для самостоятельного изготовления. В последние годы такие публикации стали редкими. Так, в сборнике «В помощь радиолюбителю» выпуск 101, с. 24—31 приводится очень подробное описание узкополосного антенного усилителя с перестраиваемой амплитудно-частотной характеристикой О. Пристайко и Ю. Поздиякова. На-

стройка усилителя на один из каналов метрового диапазона осуществляется подстроечным конденсатором, полоса пропускания усилителя составляет 8 МГц, а коэффициент усиления 22...24 дБ. Питание усилителя производится постоянным напряжением 12 В.

В журнале «Радио» № 4, 1989 г., с. 77 приводилось описание дециметрового антенного усилителя, собранного по достаточно простой схеме на двух транзисторах. Коэффициент усиления этого усилителя достигает 25 дБ, питание производится также постоянным напряжением 12 В.

Как было отмечено, основное назначение антенного усилителя — компенсация затухания сигнала в фидере. При использовании антенного усилителя чувствительность, ограниченная шумами, т. е. способность принимать слабый сигнал, определяется отношением сигнал-шум уже не на входе телевизионного приемника, а на входе антенного усилителя. Поэтому при установке антенного усилителя около антенны для получения определенного значения чувствительности, ограниченной шумами, потребуется меньший уровень входного сигнала, чем при установке его около телевизора. Таким образом, удается с лучшим качеством принимать более слабый сигнал.

Применение антенного усилителя позволяет сознательно использовать фидеры такой большой длины, которые в отсутствие усилителя ослабили бы уровень сигнала до недопустимого. Необходимость применения длинного фидера иногда возникает в условиях закрытой местности, когда телевизионный приемник располагается в ложбине и приемная антенна, установленная около дома, оказывается закрыта находящимися на пути к передатчику холмами. В то же время телевизионные антенны, установленные на расстоянии 100...200 м от этого здания, обеспечивают вполне уверенный прием с хорошим качеством изображения за счет того, что они не закрыты местной преградой. В таких условиях добиться нормального приема можно одним из двух способов: либо увеличением высоты антенной мачты, что обычно представляет собой очень трудную задачу, либо установкой антенны на открытой местности, на расстоянии 100...200 м от дома. Тогда для подключения антенны к телевизионному приемнику потребуется использование длинного фидера. Легко подсчитать, что при фидере длиной 200 м кабель марки РК 75—4—11 на частоте 12-го канала создает затухание 30 дБ, что соответствует уменьшению напряжения сигнала в 31,6 раз, который, как правило, оказывается ниже порога чувствительности телевизионного приемника. Установка антенного усилителя, обладающего хотя бы таким же усилением, на выходе антенны позволит скомпенсировать затухание сигнала в длинном фидере и обеспечить нормальную работу телевизора. Если усиления одного усилителя недостаточно, можно включить два усилителя последовательно один за другим. При этом результирующий коэффициент усиления будет равен сумме коэффициентов усиления усилителей, если они выражены в децибелах.

При очень большой длине фидера и необходимости усиления сигнала более чем на 30 дБ, когда приходится использовать два или несколько антенных усилителей, во избежание перегрузки или самовозбуждения не следует устанавливать все усилители в одном месте. В этих условиях первый усилитель устанавливают на выходе антенны, т. е. на входе фидера, а последующие — вразрыв фидера примерно на одинаковых расстояниях один от другого. Эти рас-

стояния выбирают так, чтобы затухание сигнала в отрезке фидера между двумя усилителями примерно равнялось коэффициенту усиления усилителя.

Из зависимостей удельного затухания от частоты для коаксиальных кабелей разных марок (рис. 2.1) можно сделать определенные выводы. Кабели марок РК 75-2-13 и РК 75-2-21 обладают достаточно большим удельным затуханием даже в метровом диапазоне волн, использовать их в дециметровом диапазоне не следует. Кабели марок РК 75-7-15, РК 75-9-13, РК 75-13-11 и РК 75-17-17 обладают меньшим удельным затуханием по сравнению с РК 75-4-11 особенно в дециметровом диапазоне. Если при длине фидера 50 м на частоте 620 МГц (39-й канал) кабель РК 75-4-11 вносит затухание 16 дБ (ослабление напряжения сигнала в 6,3 раз), то при тех же условиях кабель марки РК 75-9-13 вносит затухание 9,5 дБ (ослабление в 3 раза), а РК 75-13-11 — 7,25 дБ (ослабление в 2,3 раз). Таким образом, удачный выбор марки кабеля для фидера в дециметровом диапазоне может поднять уровень сигнала на входе телевизора в несколько раз даже без использования антенного усилителя.

Можно предложить достаточно простой совет по выбору кабеля: чем больше диаметр кабеля, тем меньшее затухание он вносит. В качестве телевизионного фидера всегда используется коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамович В. А.** Как находить и устранять неисправности в телевизорах. — М.: ДОСААФ, 1962.

2. **Абрамович В.** Повышение чувствительности телевизоров. — Радио, 1961, № 9, с. 21—23.

3. **Айзенберг Г. З., Ямпольский В. Г., Терешин О. Н.** Антенны УКВ. — М.: Связь, 1977.

4. **Айзенберг Г. З., Ямпольский В. Г.** Пассивные ретрансляторы для радиорелейных линий. — М.: Связь, 1973.

5. **Кириллов П., Литвак И.** Самолетная ретрансляция. — Радио, 1957, № 11, с. 38—39.

6. **Ломозова Н. З., Сорокина Т. М.** Прием телевидения в дециметровом диапазоне волн. — М.: Связь, 1971.

7. **Никитин В. А.** Как добиться хорошей работы телевизора. — М.: ДОСААФ, 1988.

8. **Никитин В. А.** Книга начинающего радиолюбителя. — М.: Патриот, 1991.

9. **Пясецкий В. В.** Справочник телезрителя в вопросах и ответах. — Минск. Беларусь, 1975.

10. **Сотников С. К.** Дальний прием телевидения. — М.: Энергия, 1968.

11. **Сотников С. К.** Сверхдальний прием телевидения. — М.: Энергия, 1967.

12. **Справочник** по спутниковой связи и вещанию. / Под ред. Л. Я. Кантора. — М.: Радио и связь, 1983.

13. **Шейко П. В.** Антенны любительских радиостанций. — М.: ДОСААФ, 1962.

ОГЛАВЛЕНИЕ